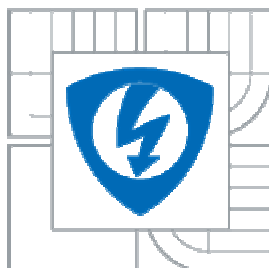




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

PSYCHO GALVANOMETRICKÉ MĚŘENÍ A BIOFEEDBACK

PSYCHO GALVANOMETRIC MEASUREMENT AND BIOFEEDBACK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LENKA PAULASOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAN HROZEK

BRNO 2010

Abstrakt

Tato práce se zabývá biologickou zpětnou vazbou a možností využití měření změn odporu kůže pro biofeedback. Teoretická část je zaměřena na princip biofeedbacku a jeho využití. Dále se zabývá odporem kůže, jeho změnou v závislosti na emocích a měřením této změny psychogalvanometrem. Praktická část je věnována tvorbě programové aplikace pro využití změn kožního odporu k biofeedbacku v prostředí LabView.

Klíčová slova

Biofeedback, odpor kůže, psychogalvanometr, psychogalvanický reflex, zpětná vazba, LabView

Abstract

This work deals with bio-feedback and the possibility of measuring changes in skin resistance for biofeedback. The Theoretic part is focused on the principle of biofeedback and its use. Next deals with the resistance of the skin, the changes depending on the emotions and the measurement this change . The practical part is devoted to the creation program for the use of skin resistance to change biofeedback in LabVIEW.

Key words

Biofeedback, skin resistance, psychogalvanometer, psychogalvanic reflex, feedback, LabView,

PAULASOVÁ, L. *Psychogalvanometrické měření a biofeedback*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 41 s. 1 s. příloh.
Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Hrozek

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Psychogalvanometrické měření a biofeedback jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Hrozkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

OBSAH

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | ÚVOD | 4 |
| 2. | BIOFEEDBACK..... | 5 |
| 2.1 | ZPĚTNÁ VAZBA | 5 |
| 2.1.1 | Kladná zpětná vazba | 5 |
| 2.1.2 | Záporná zpětná vazba | 5 |
| 2.2 | BIOLOGICKÁ ZPĚTNÁ VAZBA | 6 |
| 2.3 | BIOFEEDBACK A JEHO VYUŽITÍ..... | 6 |
| 2.3.1 | Měření fyziologických veličin pro biofeedback | 8 |
| 2.3.1.1 | Elektromyograf EMG | 8 |
| 2.3.1.2 | Povrchová teplota kůže..... | 8 |
| 2.3.1.3 | Elektroencefalografie EEG | 8 |
| 2.3.1.4 | Elektrokardiograf EKG..... | 9 |
| 2.3.1.5 | Měření odporu kůže | 10 |
| 3. | KŮŽE..... | 11 |
| 3.1 | STAVBA KŮŽE | 11 |
| 3.2 | ODPOR KŮŽE..... | 12 |
| 4. | MĚŘENÍ ODPORU KŮŽE | 14 |
| 4.1 | HISTORIE | 14 |
| 4.2 | ZPŮSOBY MĚŘENÍ | 14 |
| 4.3 | MĚŘENÍ PSYCHOGALVANICKÉHO REFLEXU | 15 |
| 4.4 | PSYCHOGALVANOMETR | 16 |
| 4.4.1 | Zdroj napětí..... | 16 |
| 4.4.2 | Odporový můstek..... | 17 |
| 4.4.3 | Diferenční zesilovač | 17 |
| 4.4.4 | Elektrody | 18 |
| 4.4.4.1 | Rozhraní elektroda kůže a pohybové artefakty | 19 |
| 4.4.5 | Výstup..... | 20 |
| 4.5 | ZÁKLADNÍ MĚŘENÍ | 20 |
| 4.5.1 | Zpracování dat | 21 |
| 5. | VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW | 22 |
| 5.1 | ÚVOD DO VÝVOJOVÉHO PROSTŘEDÍ LABVIEW | 22 |
| 5.2 | ZÁKLADNÍ ČÁSTI VIRTUÁLNÍHO PŘÍSTROJE | 23 |
| 5.2.1 | Čelní panel | 23 |
| 5.2.1.1 | Ovládací prvky | 24 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------|-----------|
| 5.2.1.2 | Indikační prvky..... | 24 |
| 5.2.1.3 | Paleta Controls..... | 25 |
| 5.2.2 | <i>Blokový diagram</i> | 25 |
| 5.2.2.1 | Uzel (Node) | 27 |
| 5.2.2.2 | Terminál (Terminal) | 27 |
| 5.2.2.3 | Spoj (Wire) | 28 |
| 5.2.2.4 | Paleta Functions..... | 28 |
| 5.2.3 | <i>Ikona a konektor</i> | 29 |
| 6. | VYTVOŘENÁ APLIKACE | 31 |
| 6.1 | BLOKOVÝ DIAGRAM APLIKACE | 31 |
| 6.1.1 | <i>Tlačítko START</i> | 32 |
| 6.1.2 | <i>DAQ Assistant</i> | 32 |
| 6.1.3 | <i>Filter</i> | 33 |
| 6.1.4 | <i>Mask and Limit Testing</i> | 34 |
| 6.1.5 | <i>Obvod RST</i> | 34 |
| 6.1.6 | <i>Zobrazení obrázků</i> | 35 |
| 6.1.7 | <i>Stop</i> | 36 |
| 6.1.8 | <i>Stop 2</i> | 36 |
| 6.2 | ČELNÍ PANEL APLIKACE | 36 |
| 6.3 | TESTOVÁNÍ APLIKACE..... | 38 |
| 7. | ZÁVĚR..... | 39 |
| | LITERATURA | 40 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 42 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| OBRÁZEK 2-1: ZPĚTNÁ VAZBA [5] | 5 |
| OBRÁZEK 2-2: SCHÉMA PROCESU BIOFEEDBACK | 7 |
| OBRÁZEK 2-3: UKÁZKA SIGNÁLU EEG | 9 |
| OBRÁZEK 2-4: EKG SIGNÁL | 9 |
| OBRÁZEK 3-1: JEDNODUCHÁ STAVBA KŮŽE..... | 12 |
| OBRÁZEK 3-2: VÝSKYT POTNÍCH ŽLÁZ[]. | 13 |
| OBRÁZEK 4-1: ODEZVY KOŽNÍHO ODPORU A KOŽNÍHO POTENCIÁLU[3]..... | 15 |
| OBRÁZEK 4-2: BLOKOVÉ SCHÉMA PSYCHO GALVANOMETRU [1]..... | 16 |
| OBRÁZEK 4-3: ODEZVA KOŽNÍHO ODPORU S CEJCHOVÁNÍM [3]..... | 17 |
| OBRÁZEK 4-4: ROZHRAŇÍ ELEKTRODA KŮŽE[2]..... | 19 |
| OBRÁZEK 5-1: ČELNÍ PANEL VIRTUÁLNÍHO PŘÍSTROJE [9]. | 23 |
| OBRÁZEK 5-2: PALETOVÉ MENU PRVKŮ FRONT PANELU [9]..... | 25 |
| OBRÁZEK 5-3: BLOKOVÉ SCHÉMA VIRTUÁLNÍHO PŘÍSTROJE [9]. | 26 |
| OBRÁZEK 5-4: PALETA MENU BLOKOVÉHO DIAGRAMU [9]. | 29 |
| OBRÁZEK 5-5: VÝŘEZ BLOKOVÉHO DIAGRAMU S OZNAČENÍM IKONY [9] | 29 |
| OBRÁZEK 6-1: BLOKOVÉ SCHÉMA APLIKACE..... | 32 |
| OBRÁZEK 6-2: UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ..... | 37 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| TABULKA 5-1: ZÁKLADNÍ DATOVÉ TYPY SPOJŮ [10]..... | 28 |
| TABULKA 6-1: STAVY KLOPNÉHO OBVODU RST Z HRADEL NAND [18] | 35 |

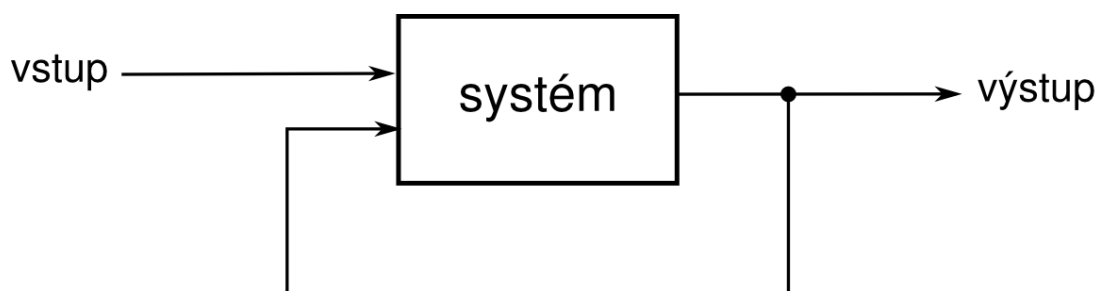
1. ÚVOD

Tato práce je věnována psychogalvanickému měření a jeho využití v biologické zpětné vazbě. Biofeedback je alternativní přístup léčení, který se používá převážně k terapeutickým účelům a léčbě některých psychických poruch. Pro biofeedback se nejčastěji používá elektrický signál vyskytující se při činnostech svalů nebo nervového systému. Podmínkou pro použití biologického signálu k biofeedbacku je ovlivnitelnost měřeného signálu lidskou vůlí. Aby bylo možné použít měření elektrodermální aktivity pro biofeedback, je tedy třeba zjistit zda hodnoty kožního odporu jsou ovlivnitelné vůlí. Odpor kůže reaguje na různé emoční podněty, jako například strach, radost, úzkost atd. K vytvoření uživatelské aplikace využívající měření elektrodermální aktivity kůže je třeba pracovat s emocí jež bude snadno a opětovně vyvolatelná. K takovým emocím patří chorobný strach např. z pavouků (arachnofobie), z hlodavců nebo z hadů atd. Cílem této práce je vytvořit takovou uživatelskou aplikaci pro biologickou zpětnou vazbu pomocí analogového psychogalvanometru, která bude napomáhat ke zvládnutí jedné ze výše zmíněných fobií. Jelikož se nejčastěji u lidí vyskytuje chorobný strach z pavouku, je aplikace zaměřená na léčbu arachnofobie. Pro vytvoření aplikace bylo využito grafické programového rozhraní LabVIEW,

2. BIOFEEDBACK

2.1 ZPĚTNÁ VAZBA

Je to proces, při kterém výstup systému ovlivňuje další činnost tohoto systému. Je to uzavřený cyklus, kde příčina na začátku systému vyvolá následek, který zpětně ovlivní původní příčinu. Schématicky je znázorněna na obrázku 2-1. Zpětná vazba se dělí podle vlivu na kladnou nebo zápornou.



Obrázek 2-1: Zpětná vazba [5]

2.1.1 Kladná zpětná vazba

Výstupní hodnota systému se přičítá ke vstupní hodnotě a což následně vyvolá zvýšení výstupní hodnoty. V elektrotechnice je tato vazba spíše nežádoucím jevem. V elektroakustice například dochází vlivem této vazby k zesílení výstupního zvuku z reproduktorů přes mikrofonní vstup a výsledkem je známé „pískání“. Dalším příkladem je úbytek zemské plochy pokryté sněhem a ledem, který vyvolává větší absorpci slunečního záření a to způsobuje další tání sněhu a ledu.

2.1.2 Záporná zpětná vazba

Zde se výstupní hodnota odčítá od vstupní a tím se výstupní hodnota snižuje. Tato vazba se hojně užívá převážně k řízení a regulaci procesů. Například nastavení pokojové teploty, kde vstup systému představuje výkon topení a výstupem je teplota v místnosti. Pokud je v místnosti zima, zvýší se výkon topení a naopak, jestliže je v místnosti příliš teplo, výkon topení se sníží. Jiným příkladem záporné zpětné vazby je vývoj dravec - kořist ve volné přírodě. Pokud je nedostatek kořisti (vstup systému), dravci (výstup) začnou vymírat. Vymírání dravců způsobí nárůst populace kořisti, což vyvolá nárůst dravců, čímž se zredukuje populace kořisti.

2.2 BIOLOGICKÁ ZPĚTNÁ VAZBA

Zpětná vazba se vyskytuje všude kolem nás a je nepostradatelná pro správné fungování živých organismů např. pomocí našich senzorů polohy, jako jsou například oči, vyhodnocuje lidský mozek naši polohu a stimuluje jednotlivé svaly tak, abychom udrželi rovnováhu. Tato vazba se označuje jako biologická zpětná vazba. [8].

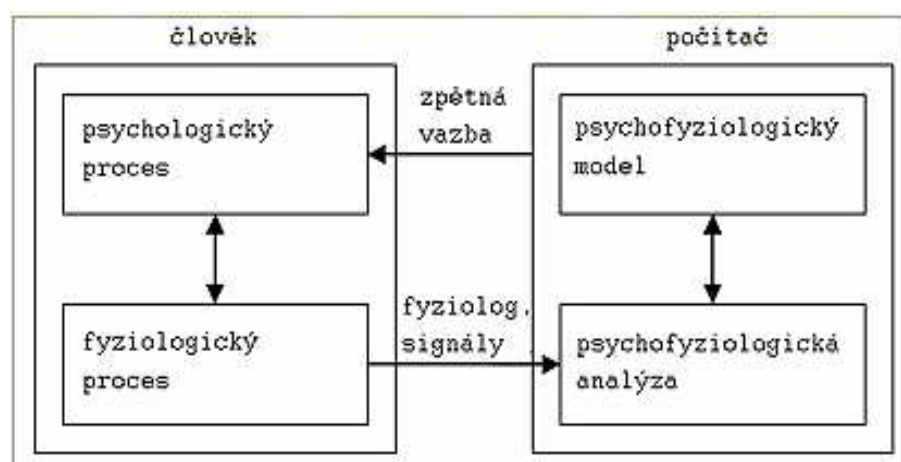
Biologickou zpětnou vazbu lze také navodit za účelem učení, tréninku či léčby. Lékař říkající "dýchejte zhluboka", učitel říkající "to jsi dobře přečetl", trenér křičící "přidej", ti všichni dávají zpětnou vazbu řečí. Takováto zpětná vazba vyvolaná za účelem léčby, učení či tréninku se nazývá biofeedback [6].

2.3 BIOFEEDBACK A JEHO VYUŽITÍ

Biofeedback je terapeutický postup vyvinutý Profesorem Stermanem na universitě v Los Angeles v 60. letech. Zde se profesor mimo jiné zabýval výzkumem učení pomocí podmíněného reflexu u koček. Kočky měly za úkol zmáčknout tlačítko poté, co se rozsvítilo světélko a za odměnu dostaly jídlo. Tímto se u koček trénovala trpělivost. Při dalších pokusech na takto vytrénovaných kočkách profesor zjistil, že mají trvale odlišnou elektrickou aktivitu mozku a navíc ukázaly daleko větší odolnost proti toxickým látkám. Profesor Sterman metodu rozvinul a používal ji na lidech trpících epilepsií. Neal Miller, doktor psychologie a neurolog, odhalil, že při stimulaci center budících u myši příjemný pocit, bylo možné naučit je ovládat určité projevy srdeční frekvence. Metodu nazval biofeedback.[7]

Na počátku devadesátých let byly vyvinuty přístroje s názvem „psychowalkman“. Tyto přístroje používaly audiovizuální stimulaci (kombinace hudby a světelných záblesků) napomáhající uživateli k relaxaci, meditaci, soustředění či účinnějšímu učení.

Dnes metoda biofeedback využívá měření různých osobních fyziologických veličin, jako je krevní tlak, srdeční činnost (EKG), teplota, pocení, odpor kůže, svalové napětí (EMG) a samozřejmě elektrickou aktivitu mozku (EEG), které se vhodnou formou prezentují pacientovy. Pacient je schopen částečně tyto hodnoty ovlivnit vůlí a tím se naučit patřičným způsobem je ovládat. Schématicky je to naznačeno na obrázku 2-2.[8]



Obrázek 2-2: Schéma procesu biofeedback [11]

Dnes je nejběžnější prezentace dat ve formě hry, kde pacient dosahuje kladných bodů při správném ovládnutí měřené veličiny a nebo záporných bodů. Další možností je viditelný pohyb končetiny. Kdy se snímá pomocí EEG vyslaný signál do patřičné končetiny a pomocí EMG se snímá elektrická odezva svalu v dané končetině vyvolávající pohyb a v případě nedostatečné velikosti tohoto signálu (absence pohybu) se použije generátor elektrických impulzů, který je součástí přístroje. Pomocí těchto impulzů se vyvolá patřičná svalová kontrakce. Pacient tímto způsobem „posiluje“ nervové dráhy mezi centrální nervovou soustavou (CNS) a končetinou. Měřený signál ze svalů lze také převést na blikání nebo pípaní korespondující s napětím ve svalech. Zastavením pípaní či blikání pacient docílí uvolnění svalu. Po proceduře jsou lidé schopni tyto schopnosti opakovat bez připojení senzorů.

Biofeedback se dále využívá k odproštění se od stresu, ke zlepšení výkonu intelektu, k relaxaci, zlepšení soustředěnosti a paměti. Vynikající a rychlý účinek má na poruchy spánku. Též se používá k léčení lehkých mozkových dysfunkcí při léčbě epilepsie, pro zlepšení koordinace svalů, zmírnění migrény a léčbě určitých oběhových poruch. [10]

K biofeedbacku se používají různé způsoby měření fyziologických veličin.

2.3.1 Měření fyziologických veličin pro biofeedback

2.3.1.1 Elektromyograf EMG

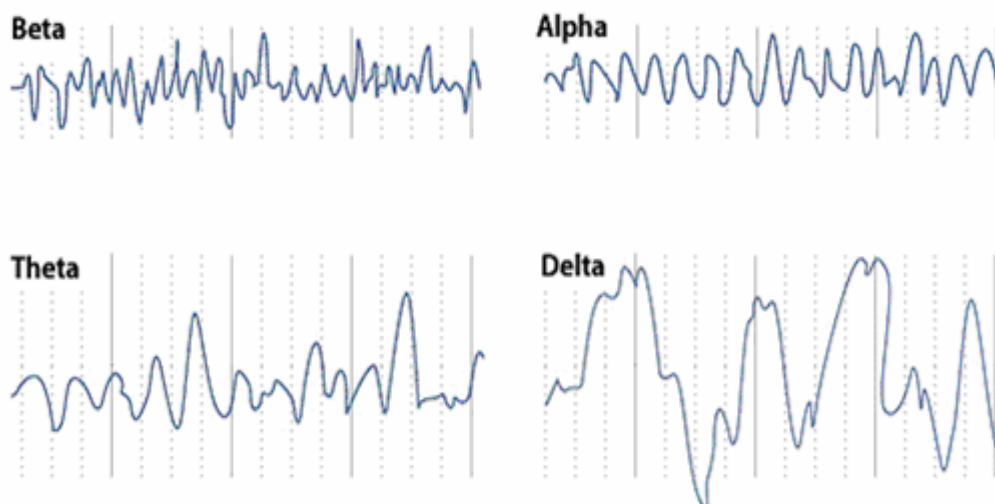
Svalová kontrakce je doprovázena výměnou iontů v buňkách, což se projevuje změnou potenciálu. EMG je přístroj měřící tento potenciál. Signál lze snímat přímo zevnitř svalu (vpichové elektrody) nebo z povrchu (povrchové elektrody). Takto získané informace společně s vhodnou interpretací mohou napomoci pacientovi lépe ovládat činnost svalů nebo dokonce znovu nabýt schopnost patřičný sval ovládat. EMG biofeedback se používá jako relaxační technika při uvolňování svalových napětí při bolestech zad, hlavy, krku i vrzání zubů.

2.3.1.2 Povrchová teplota kůže

Měření teploty se provádí na prstu ruky či nohy. Změna povrchové teploty je ovlivněna mimo jiné psychickým stavem. Při stresu dochází ke snížení teploty vlivem vazokonstrikce (zúžení) cév. Díky informaci o teplotě může pacient včas začít s uvolňovacími technikami. Lze také dosáhnout snížení frekvence migrény nebo léčby některých oběhových poruch.[8]

2.3.1.3 Elektroencefalografie EEG

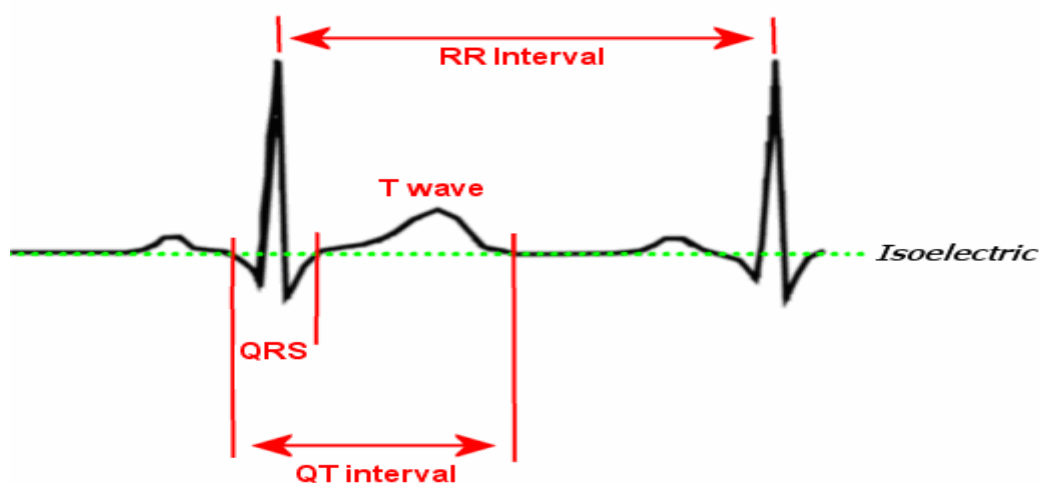
Jedná se o přístroj pro měření elektrické aktivity různých částí mozku. Záznam lze pořídit z povrchu hlavy nebo také přímo z povrchu kůry mozkové (nepoužívá se příliš často). Mozková činnost se projevuje elektrickým signálem různé úrovně o různé frekvenci. Například během spánku jsou u zdravého jedince pozorovány takzvané delta vlny, což je signál o úrovni 100 μ V a o frekvenci 0.5 až 4 Hz zatímco v aktivním stavu jsou měřeny tzv. beta vlny, signál o frekvenci 13-22Hz a napětí pod 20 μ V. Ukázka různorodosti mozkových vln je na obrázku 2-3. Každý psychický nebo fyzický stav lze určit pomocí EEG signálu v patřičné oblasti mozku. EEG biofeedback umožňuje naučit se ovládat frekvence patřičných mozkových vln, což může pacientovi napomoci ke zlepšení sebeovládání, koncentraci, udržení pozornosti, zlepšení paměti a intelektu atd. [8]



Obrázek 2-3: Ukázka signálu EEG [12]

2.3.1.4 Elektrokardiograf EKG

Každý stah srdečního svalu je doprovázen vznikem slabého elektrického napětí, které se šíří až na povrch lidského těla. Toto napětí se snímá pomocí elektrokardiografu povrchovými nebo jícnovými elektrodami. Používají se tři standardní způsoby zapojení. Bipolární končetinové svody (napětí mezi levou a pravou rukou, levou rukou pravou nohou nebo pravá ruka pravá noha), unipolární končetinové (zapojení bipolárních svodů do hvězdy) a hrudní svody. Výsledkem tohoto měření je EKG křivka. Ukázka takové křivky je na obrázku 2-4. Srdeční činnost může být mimo jiné ovlivněna psychickým stavem, např. strach tepovou frekvenci zvyšuje, relaxací se dá snížit. Pomocí EKG biofeedbacku.



Obrázek 2-4: EKG signál [15]

2.3.1.5 Měření odporu kůže

Přístroj pro měření odporu kůže se nazývá psychogalvanometr. Měří se pomocí dvou elektrod nejčastěji umístěných na dlaně a předloktí či zápěstí. Další možností je umístění elektrod na lýtku a ploše chodidla. Psychogalvanometrem lze celkem spolehlivě vyhodnotit strach, vzrušení, depresi i euforické stavy. Často bývá detekce změn kožního odporu součástí měřících soustav pro snímání emočních změn v biofeedbacku. V těchto případech je jako hlavní zdroj informací brán signál snímáný z mozku pomocí elektroencefalogramu a elektrodermální změny jsou jen doplňujícím zdrojem informací. Samostatně se měření změn kožního odporu příliš nepoužívá, i když je to poměrně snadná experimentální metoda s nízkými nároky na přístrojové vybavení. Této možnosti je věnovaná následující kapitola.

3. KŮŽE

3.1 STAVBA KŮŽE

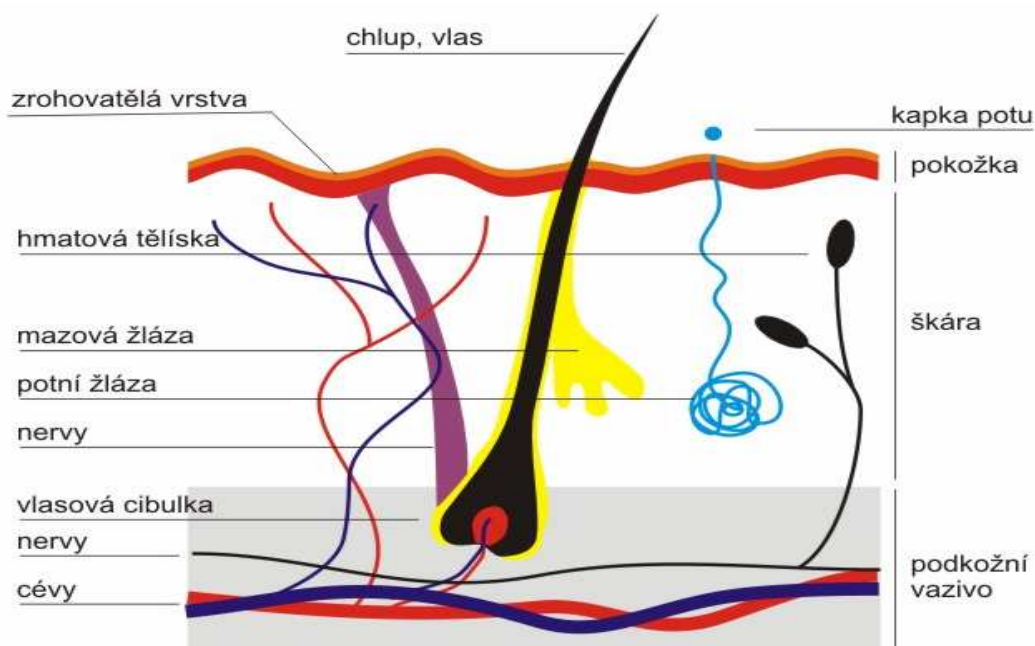
Kůže je největším orgánem lidského těla. Plocha kůže, kdybychom jí rozvinuli, měří přibližně u dospělého člověka 1,5-2 m² u novorozence asi 0,25m² a její váha se pohybuje kolem 10-20 kg v závislosti na množství podkožního tuku [14]. Kůže se skládá ze tří vrstev, jak je znázorněno na obrázku 3-1, vrstva podkožního vaziva, škára a pokožka.

Nejtenčí povrchová vrstva kůže nazvaná pokožka (epidermis), je z vrstev buněk, kde nejsvrchnější část je tvořena z odumřelých buněk a nazývá se vrstvou rohovou, následuje vrstva světlá, zrnitá, ostnitá a vrstva bazální. Nejspodnější vrstva, vrstva bazální, brání stržení pokožky při mechanických nárazech pevným spojením pokožky se škárou. Nachází se zde zrna kožního pigmentu a melaninu, která chrání nižší vrstvy před UV zářením. V části bazální vrstvy dochází také k neustálému tvoření nových kožních buněk, které vytlačují starší buňky k povrchu a nahrazují tak buňky odumřelé, které se nepřetržitě olupují. Zrání buněk trvá asi 20 dnů [14]. Během zrání dochází ke zplošťování buněk, degradaci jádra a postupné ztrátě vzájemného spojení buněk. Pokožkou neprochází cévy ani nervová vlákna. Na povrchu zrohovatělé vrstvy leží povrchový film z potu, kožního mazu a bakterií. Tento hydro-lipidový film dokáže omezeně neutralizovat zásadité a kyselé látky.

Škára (dermis) je vazivová část kůže, která je základem její pevnosti a pružnosti. Je tvořena třemi základními prvky: bílkovinná vlákna kolagenu a elastinu a specifické polysacharidy. V této vrstvě se vyskytují cévy, nervová zakončení, smyslová čidla teploty a hmatu, mazové a potní žlázy a vyrůstají zde vlasy a chlupy. Svrchní část škáry je zvlněna s různou výškou a tvarem vln podle krajiny těla. Individuálního zvlnění na bříškách prstů využívá daktyloskopie (nauka zkoumající otisky prstů).

Podkoží (hypodermis) slouží tělu jako ochranný polštář a zásobárna živin pro látkovou výměnu. Tato vrstva je tvořena hustým kolagenním vazivem a tukovými buňkami. Množství tukových buněk závisí na oblasti těla a na životosprávě člověka. Nachází se zde receptory tahu a tlaku. Umožňuje pohyblivost kůže tzv. řasení. Podkožím prochází cévy a nervy.

Základní funkcí kůže je ochrana proti vniku škodlivých látek do organismu, brání mechanickému poškození a chrání před UV zářením. Další důležitou funkcí je udržování tělesné teploty, skladování tuků (mechanická a tepelná izolace, zásobárna zdroje energie a vitamínů ADEK). Vylučování mazových a potních žláz chrání organismus a zároveň ho zbavuje škodlivých látek.



Obrázek 3-1: Jednoduchá stavba kůže [16]

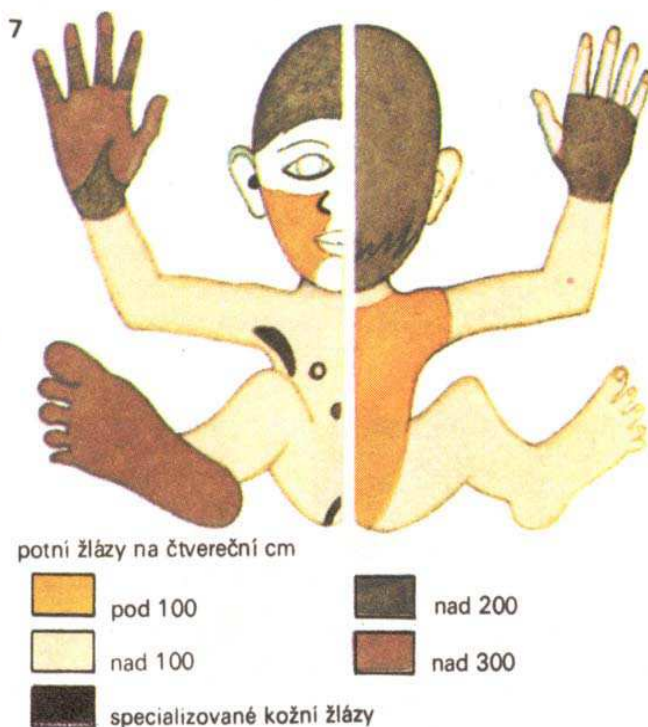
3.2 ODPOR KŮŽE

Na elektrický odpor kůže má mimo jiné vliv síla vrstvy zrohovatělých buněk (u manuálně pracujícího člověka může dojít až k úplné nevodivosti kůže na dlaních) a vylučování potních žláz. U každého člověka může být základní hodnota kožního odporu jiná. Tato hodnota se pohybuje v rozmezí od 10kΩ do 100kΩ [1]. Pro lepší pochopení změny kožního odporu v závislosti na vylučování potu je vhodné přirovnání kanálků potních žláz (dlouhé trubicovité žlázy ústící na povrch kůže) k paralelní kombinaci proměnných rezistorů. Variabilita rezistorů je závislá na množství potu v kanálku. Čím je kanálek plnější, tím větší je vodivost pokožky. Potní žlázy vlastně propojují přes málo vodivou epidermální vrstvu vodivý vnitřek lidského těla s povrchem. Tyto žlázy jsou nerovnoměrně rozloženy po celém těle, jak je vidět na obrázku 3-2. Největší koncentrace je na čele, v podpaží, dlaních a chodidlech. Pot se skládá z vody, iontů (Na^+ , K^+ a Cl^-), kyseliny mléčné a močoviny. Sekrece potu může být 2 až 3 l/den. V kůži lidského těla jsou dva typy potních žláz lišící se lokalizací a funkcí. Jsou to žlázy ekrinní a apokrinní.

Apokrinní potní žlázy se vyskytují převážně v podpaží, v genitálních oblastech, v ušních kanálcích a v okolí prsních bradavek. Aktivují se během dospívání, reagují na stavy

emocí a sexuální touhy. Těmto žlázám je přisuzována funkce evolučně staršího komunikačního systému pachů, který se vyskytuje například u savců, jako jsou psi a opice.

Ekrinní potní žlázy jsou rozmístěny po celém těle. Jejich množství se pohybuje kolem dvou až tří milionů. Jejich hlavní funkce je termoregulační, až na žlázy umístěné na povrchu dlaní a chodidel. Těmto žlázám je přiřazována funkce související s uchopováním a předpokládá se, že odpovídají spíše emočním stimulům než tepelným. Všechny ekrinní žlázy vylučují pot vyvolaný emoční změnou, ale oblasti dlaní rukou a chodidel mají vysoký plošný výskyt těchto žláz, a proto je zde pocení nejvýraznější. A to je důvod proč se dlaně nebo chodidla výhradně používají ke sledování emočních změn prostřednictvím měření odporu kůže.



Obrázek 3-2: Výskyt potních žláz[17].

4. MĚŘENÍ ODPORU KŮŽE

4.1 HISTORIE

Průkopníky ve zkoumání elektrických projevů lidského organismu byli Bertholom a Galvani se svou živočišnou elektřinou. První zkoumání elektrických vlastností pokožky se datuje do roku 1849, kdy DuBouis – Rymond pozoroval proud tekoucí od kontrahované končetiny do končetiny uvolněné. Tento jev ovšem považoval za výsledek akčních potenciálů ve svalectech. První měření elektrického kožního potenciálu uskutečnil Vigoroux (1879) v laboratoři J. Charchota. V této laboratoři později Féré (1888) pouštěl malý stejnosměrný proud do těla hysterických pacientů pomocí elektrod umístěných na předloktí a sledoval změny kožního odporu v závislosti na senzorických podnětech. Ruský vědec J. Tarchanoff (1890) sledoval změny potenciálu mezi kterýmikoliv dvěma místy na kůži bez použití zdroje proudu. Při pokusech Tarchanoff zjistil, že na změny potenciálu má vliv mentální aktivita pokusné osoby. Další, kdo se zabýval elektrickými jevy kůže, je Veraguth (1909), který tento jev pojmenoval „psychogalvanický reflex“.[3]

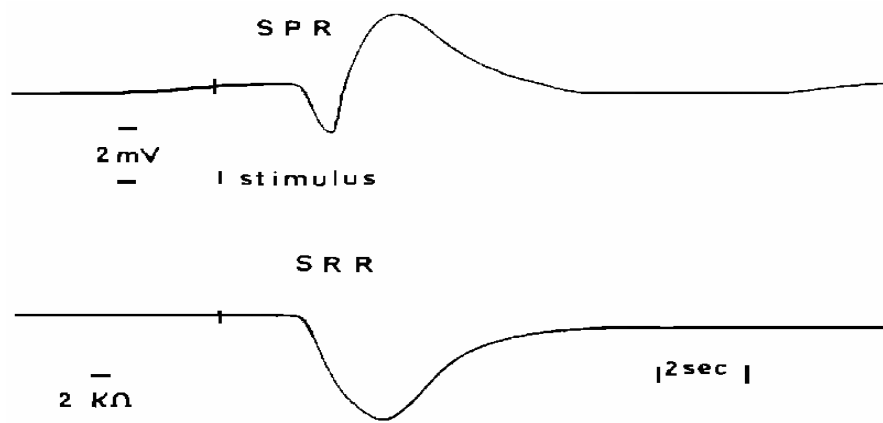
4.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ

K měření elektrických jevů kůže lze přistupovat dvěma různými způsoby.

Edosomatický přístup – měří kožní potenciál, což je rozdíl potenciálů měřený mezi elektrodami umístěnými na ploše dlaně a předloktí bez použití vnějšího zdroje proudu. Hodnoty kožního potenciálu se pohybují kolem 50 až 70 mV. Měření můžou ovlivnit signály elektrické aktivity srdce, mozku či svalů.

Exosomatický přístup – měří přímo kožní odpor pomocí malých proudů pouštěných do pacienta z externího zdroje. Elektrody jsou opět umístěny na ploše dlaně a předloktí. Základní hodnota kožního odporu, jak už bylo zmíněno v kapitole 3.2, se pohybuje v rozmezí od 10 kΩ do 100 kΩ. Pro měření se využívá, jak stejnosměrný tak střídavý proud nebo napětí. U použití střídavého proudu odpadá problém s polarizací elektrod, ale výsledná hodnota je ovlivněna kapacitní vlastností kůže, která je frekvenčně závislá. Při použití stejnosměrného proudu nastává problém s polarizací elektrod, pro jeho minimalizaci se používá proudová hustota menší než $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. [1]

Na obrázku 4-1 jsou odezvy kožního potenciálu (SPR) a kožního odporu (SRR) na mentální podněty. Hodnoty kožního potenciálu se vždy vrací po stimulaci na počáteční hodnotu, zato hodnoty odporu kůže se vrátit nemusí.



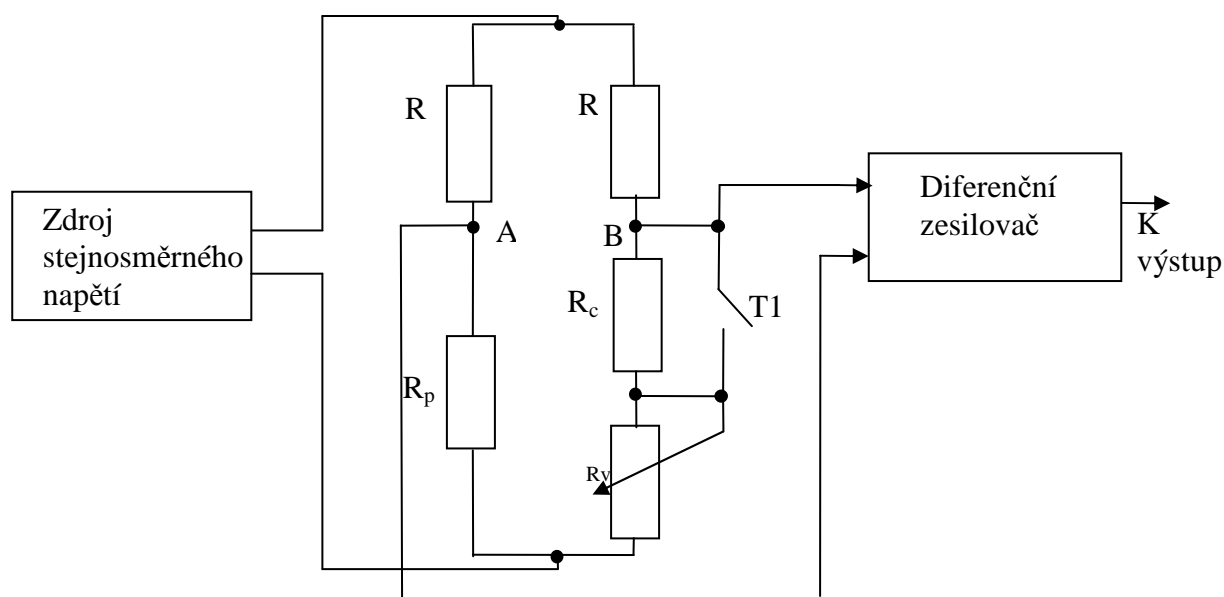
Obrázek 4-1: Odezvy kožního odporu a kožního potenciálu na mentální podněty [3].

4.3 MĚŘENÍ PSYCHO GALVANICKÉHO REFLEXU

Změna elektrického kožního odporu v závislosti na vnějších podnětech je označována jako psychogalvanický reflex. Změna velikosti psychogalvanického reflexu závisí na experimentálních podmínkách a na pozorovaném subjektu. Odchyly kožního odporu se mohou pohybovat v jednotkách až desítkách kiloohmů. Přičemž doba odezvy na podnět bývá od 1,5 do 3,5 sekundy. Základní hodnota kožního odporu není po ukončení psychogalvanického reflexu vždy stejná, a proto dobu trvání reflexu nelze přesně určit. Povrch kůže pokusné osoby má také značný vliv na výsledky měření. U lidí, kteří celý život těžce manuálně pracují, může dojít ke ztvrdnutí nejsvrchnější vrstvy kůže do takové míry, že se stává nevodivou. Psychogalvanický reflex lze vyvolat např. hlubokým nadechnutím, vizuálním podnětem (obrázek jídla, sexuální motivy, peníze, násilné motivy...), prudkým zábleskem, náhlým zvukem, vhodně volenými slovy... [1]

4.4 PSYCHO GALVANOMETR

Blokové schéma psychogalvanometru se nachází na obrázku 4-2. Schéma zapojení je uvedeno v příloze 1. Jedná se o zapojení s odporovým můstkem. Jinou možností snímání kožního odporu je zapojení s konstantním proudem a kompenzací základní hodnoty kožního odporu.



R_p – pacient, R_c – odpor pro cejchování křivky, $T1$ – tlačítko pro cejchování, R_v – vyvažovací odpor

Obrázek 4-2: Blokové schéma psychogalvanometru [1]

4.4.1 Zdroj napětí

Vlastnosti zdroje napětí jsou přizpůsobeny pacientovi, takže je kladen důraz převážně na jeho bezpečnost a tedy na stabilitu zdroje. Musí být zajištěno, aby pacientem nemohl protékat příliš vysoký proud, který by mu mohl způsobit újmu na zdraví. Hodnota proudu procházející přes kůži pacienta je vázaná na plochu použité elektrody. Neměla by být překročena proudová hustota $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ [1]. Celý přístroj je napájen ze sítě a je tedy třeba obvod připojený k pacientovi od sítě oddělit.

4.4.2 Odporový můstek

Odporů jsou zapojeny do takzvaného Wheatstonova můstku. V tomto zapojení měřené napětí mezi svorkami A a B odpovídá, vzhledem k tomu, že ostatní odpory se během měření nemění, změně sledovaného odporu. V našem případě odporu R_p , který představuje odpor pacienta. Aby tomu tak bylo, je třeba před každým měřením můstek vyvážit, tak aby měřené napětí bylo nulové. Vyvážením můstku získáme hodnotu základního kožního odporu pacienta ze vztahu 1.

$$R_p = \frac{(R_v + R_c) * R}{R} \quad (1)$$

Jelikož hodnota základního kožního odporu jedince je závislá na různých faktorech okolí a psychickém stavu, je třeba před každým měřením můstek znovu vyvážit, i když je měření prováděno na stejném subjektu. K tomuto účelu slouží odpor R_v . Tento odpor ve skutečnosti (viz. Příloha 1) zahrnuje sadu odporů pro hrubé ladění (100KΩ až 500KΩ), velmi jemné ladění (10Ω-90Ω) a potenciometr pro jemné ladění (10kΩ). Odpor R_c s tlačítkem T1 slouží k cejchování. Na začátku měření psychogalvanického reflexu se tlačítko zmáčkne a po jeho rozepnutí se v naměřeném průběhu objeví skoková změna odpovídající velikosti odporu R_c , tedy 1kΩ. Toto umožňuje kvantitativně hodnotit změny psychogalvanického reflexu viz obr. 4-3.



Obrázek 4-3: Odezva kožního odporu s cejchováním [3]

4.4.3 Diferenční zesilovač

Úroveň měřeného signálu mezi svorkami A a B je velmi malá, proto je třeba tento signál pro další zpracování patřičně zesílit. Zatím to účelem je v obvodu operační zesilovač. Je třeba, aby tento zesilovač zesílil rozdíl napětí mezi svorkami A a B, toho je docíleno zapojením

odporové zpětné vazby u obou vstupů. Jedná se o diferenční zapojení s rozdílovým zdrojem signálu.

Jedním ze základních požadavků na zesilovač je velký vstupní odpor. U diferenčního zesilovače s rozdílovým zdrojem signálu je tento odpor dán rezistory připojenými ke vstupům zesilovače. Pro správnou funkci psychogalvanometru je třeba, aby tyto odpory byly co největší kvůli minimálnímu zatížení můstku. Ovšem jejich hodnota musí být menší, než vnitřní vstupní odpor zesilovače, aby došlo k potlačení možného rušivého (soufázového) signálu. Za tímto účelem jsou před samotným zesilovačem zapojeny impedanční transformátory, které zajistí velký odpor na výstupu můstku a malý odpor na vstup zesilovače. Pro změnu citlivosti je u diferenčního zesilovače připojeno tlačítko T2 (viz. příloha 1), kterým se mění zesílení zesilovače 5 krát. Dalšími požadavky na zesilovač biologických signálů jsou: zandbatelný unikající proud, pracovní kmitočtové spektrum odpovídající spektru biologického signálu, malý vlastní šum, vysoký diskriminační činitel (udává kolikrát zesilovač zesílí rozdílovou složku oproti soufázové) a možnost nastavení přesné hodnoty zesílení.

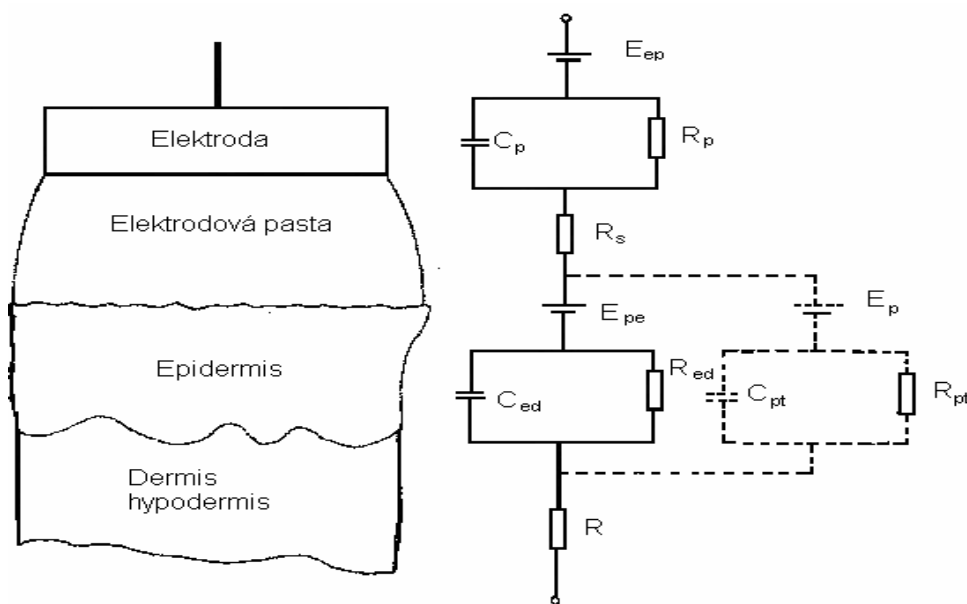
4.4.4 Elektrody

Pro měření biologických signálů je důležitá vhodná volba elektrod. V dnešní době jsou pro snímání elektrických signálů s povrchu těla nejpoužívanější stříbro-chloridové elektrody (Ag/AgCl) patřící mezi elektrody druhého druhu. Tyto elektrody jsou tvořeny tak, že základní vodivý materiál (v tomto případě stříbro) je pokryt tenkou vrstvou těžko rozpustné soli (chlorid stříbrný) nebo hydroxidu základního materiálu a jsou ponořeny do elektrolytu, který má společný aniont s touto vrstvou např. NaCl nebo KCl. Elektrody s použitím elektrolytické vrstvy se nazývají plovoucí. Organismus (elektrolyt) je vodič druhé třídy. Vedení elektrického proudu je v takovém případě zprostředkováno ionty. Spojení elektrody a přístroje představuje vodič první třídy, elektrický proud je veden pomocí volných elektronů. Rozhraní elektroda – elektrolyt je rozhraní, na kterém dochází ke změně vodivosti. Vlivem tohoto rozhraní vzniká tzv. elektrický potenciál. Dochází zde ke snaze vyrovnání potenciálu. Ionty z kovu se kvůli elektrostatické síle volných elektronů nemohou dostat do roztoku a naopak přechod kationtů kovu na povrch elektrody je brzděn přebytkem aniontů v elektrolytu. To je příčinou vzniku elektrické dvojvrstvy a tedy vzniku elektrického potenciálu mezi elektrodou a elektrolytem. Tento potenciál je přičítán k měřenému signálu. U stříbro-chloridových elektrod je nejnižší hodnota elektrodového potenciálu při nasyceném roztoku elektrolytu.

Další výhodou stříbro-chloridových elektrod je jejich nepolarizovatelnost. U polarizovatelných elektrod dochází při průchodu proudu ke koncentračním a chemickým změnám. Tyto změny způsobují změnu elektrodového potenciálu. U nepolarizovatelných elektrod k těmto změnám dochází jen nepatrně. Při snímání biologických signálů z povrchu těla hraje velmi důležitou roli rozhraní elektroda kůže a pohybové artefakty. [2]

4.4.4.1 Rozhraní elektroda kůže a pohybové artefakty

Na obrázku 4-4 je znázorněno rozhraní elektroda-elektrolyt-kůže a jeho elektrické náhradní schéma. E_{ep} představuje elektrodový potenciál a paralelní kombinace C_p/R_p impedanci rozhraní elektroda-pasta. Odpor R_s je ekvivalentní odpor elektrodové pasty. Zdroj napětí E_{pe} představuje rozdíl koncentrací iontů mezi epidermem a elektrolytem vzniklý v důsledku polopropustnosti epidermu pro ionty. Epidermální vrstva má impedanci, která působí jako paralelní obvod RC (R_{ed} , C_{ed}). Vliv potních žláz je ve schématu znázorněn paralelní kombinací R_{pt} , C_{pt} a zdrojem napětí E_p .



Obrázek 4-4: Rozhraní elektroda kůže[2]

Jestliže dojde k pohybu elektrody, změní se rozdělení náboje a tedy napětí u jednotlivých rozhraní. Tato napětí se přičtou k snímanému signálu, což se projeví jako pohybový artefakt. Tento jev je minimální u nepolarizovatelných elektrod. Náhradní obvod elektrody vytváří se vstupní impedancí přístroje dělič, z jehož vlastností vyplývá požadavek na vstupní impedanci přístroje. Vstupní impedance přístroje musí být taková, aby vliv náhradního obvodu elektrody

na měřený signál byl zanedbatelný. Čím menší je plocha elektrody, tím větší musí být impedance přístroje.[2]

4.4.5 Výstup

Použitý psychogalvanometr má dva výstupy vyvedeny z přístroje na připojení k zapisovači a jeden je připojený k ručkovému mikroampermetrem, který je součástí přístroje. Na výstup označený ve schématu číslem 1 (viz. příloha) a který je současně přiveden na mikroampérmetr, je přiváděn signál přímo odpovídající změnám odporu kůže. Na výstupu 2 je tento signál zpožděn o 2ms.

4.5 ZÁKLADNÍ MĚŘENÍ

Měření bylo provedeno na dvou subjektech za stejných podmínek (místnost E 231, pokojová teplota 21 °C, elektrody byly umístěny na dlani a předloktí.)

subjekt 1 – muž 23 let základní kožní odpor 68K Ω , student

subjekt 2 – žena 25 let základní kožní odpor 52K Ω , student

Před měřením bylo třeba vyvážit můstek, což bylo značně náročné, jelikož i nepatrný podnět může vyvolat psychogalvanický reflex. Po vyvážení následovala tato pozorování:

Vliv dýchání

při hlubokém nádechu odpor prudce klesl (výchylka na mikroampérmetru rostla) při zadrženém dechu odpor pomalu narůstal a při dalším nádechu opět prudce klesl. Po následném přirozeném dýchání se ustáli v blízkosti základního kožního odporu.

Pravda-lež

U prvního subjektu se odpor kůže měnil stejně, jak při pravdivé odpovědi, tak při nepravdivé. Druhý subjekt reagoval na nepravdivou odpověď větší změnou kožního odporu než u odpovědi pravdivé.

Psychická zátěž

Subjekt měl za úkol odečítat číslici 17 od 1000. Během této činnosti odpor mírně klesl a držel se na konstantní úrovni. U prvního subjektu se ručička mikroampérmetru vychýlila na 20 μ A a u druhého na 30 μ A.

Vyvolání smíchu vedlo k snížení odporu, vizuální podnět (žena v plavkách) vyvolal zvýšení odporu.

Po každé změně odporu dlouho trvalo, než se ručička vrátila k nulové hodnotě a v případech malého vychýlení (do 50 μA) se nevracela vůbec. Oba subjekty byli schopni vůlí vrátit výchylku na nulovou hodnotu.

4.5.1 Zpracování dat

K možnému využití psychogalvanometru k biofeedbacku je třeba informace o kožním odporu převést do vhodné formy. To představuje proces diskretizace a vytvoření programové aplikace, která dokáže vyvolat psychogalvanický reflex. K tomuto účelu je vhodné prostředí LabView, které je vytvořeno pro zpracování měřených dat a umožňuje snadné připojení přístroje k PC pomocí vstupně výstupní analogové karty. Psychogalvanický reflex lze mimo jiné navodit vyvoláním pocitu strachu. Silných reakcí se u fobiků snadno docílí promítnutím obrázku s motivem jejich fobie (například obrázky pavouků u lidí trpících arachnofobií). Pro využití změn kožního odporu k biofeedbacku se nabízí jako jedna z možností tvorba aplikace, která promítne obrázek s motivem např. výše zmiňovaného pavouka, který se po zklidnění pacienta (zvýšení kožního odporu) změní ve tvar pro pacienta přijatelnější, např. v kočku. Pomocí takovéto aplikace by se pacient měl naučit aspoň částečně ovládat svůj strach.

5. VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW

5.1 ÚVOD DO VÝVOJOVÉHO PROSTŘEDÍ LABVIEW

LabView (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) čili „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“ vzniklo na půdě Texaské univerzity pod vedením „otce“ systému Jeffa Kodovského. Systém byl po prvé uveden na trh roku 1986 pod obchodním názvem LabVIEW I určený pro platformu počítačů Macintosh [9].

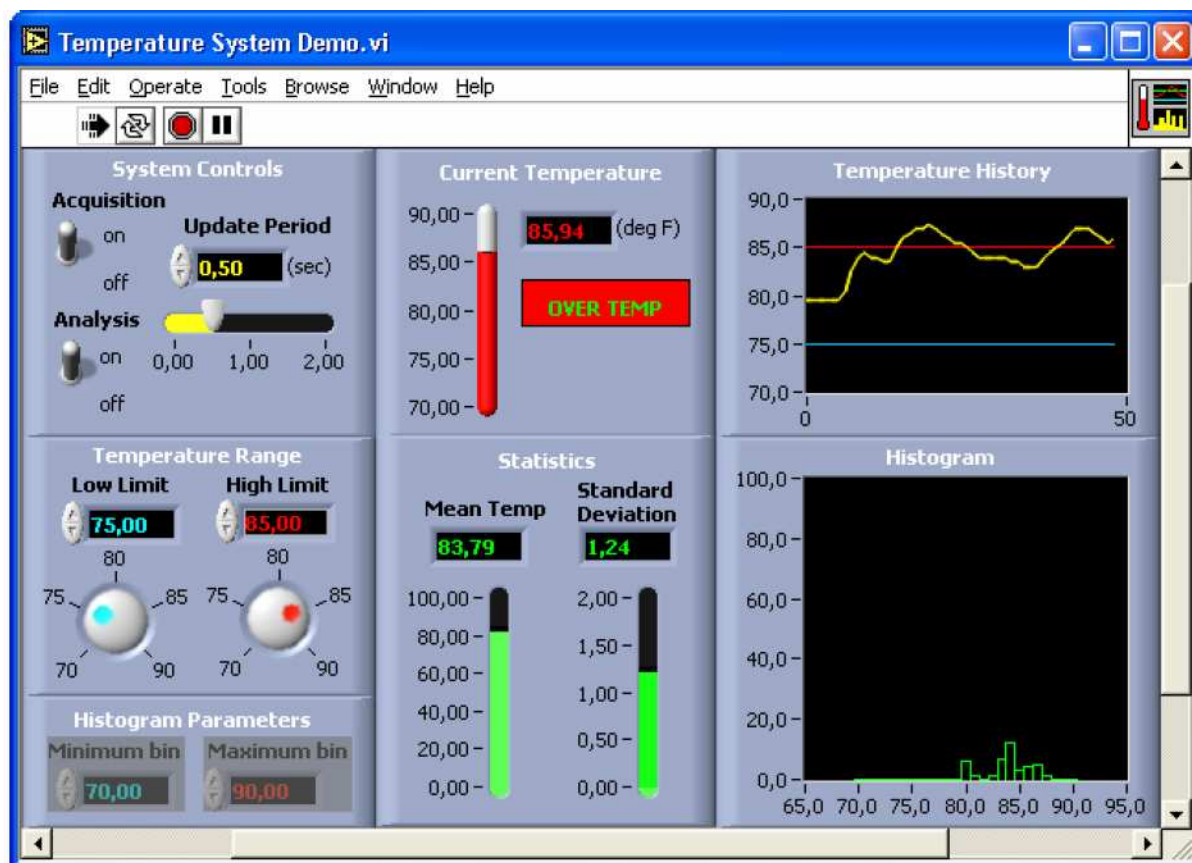
Jedná se o vývojové prostředí sloužící k vytváření aplikací orientovaných na oblast měření. Toto prostředí umožňuje sběr naměřených dat, jejich analýzu a patřičnou prezentaci. Zkoumaná data, či měřicí přístroje, lze k počítači připojit čtyřmi základními způsoby. Pomocí rozhraní RS 232, GPIB, přes zásuvné multifunkční karty a přes systémy na bázi VXI sběrnice.

LabView je vývojovým prostředím na úrovni např. C jazyka se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami, ale na rozdíl od běžných jazyků, v grafické podobě v tzv. G jazyku. Výhodou grafického prostředí je jeho snadná ovladatelnost, takže i nepříliš zdatný programátor může relativně jednoduše vytvořit potřebnou aplikaci bez znalosti programovacího jazyka. Pomocí bloků lze sestavit virtuální přístroj (Virtual Instrument zkráceně VI), který svou činností připomíná klasický přístroj ve své fyzické podobě např. osciloskop. Pospojováním dílčích virtuálních přístrojů (subVI) vzniká konečná aplikace. Jedná se tedy o modulární programování. Tvorbu aplikace lze rozdělit na jednotlivé dílčí úlohy, pro které se vytvoří subVI a po jejich pospojování vzniká konečný virtuální přístroj, což je velmi výhodné pro ladění aplikace, protože funkci jednotlivý subVI lze testovat nezávisle na ostatních částech virtuálního přístroje.[9] Tvorba aplikace je realizována ve dvou vzájemně propojených oknech. Je to tzv. Front Panel (čelní panel) a okno Blok Diagram (blokové schéma). Okno front panelu slouží k sestavení uživatelského rozhraní virtuálního přístroje, které je po spuštění aplikace určené k nastavování výsledného měřicího přístroje a k sledování měřených dat. V okně blok diagramu se tvoří vlastní program. Propojují se zde jednotlivé ikony reprezentující v koncových blocích ovládací a indikační prvky čelního panelu, které zpracovávají měřená data. Zpracování je řízeno tokem dat. Jednotlivé bloky zahajují výpočty až v okamžiku, kdy mají na patřičných vstupech všechna potřebná data a po zpracování jsou výsledky zaslány na výstupy. Procesy jednotlivých bloků tedy běží paralelně.[13]

5.2 ZÁKLADNÍ ČÁSTI VIRTUÁLNÍHO PŘÍSTROJE

5.2.1 Čelní panel

V tomto okně vzniká grafické rozhraní, jehož úkolem je v konečné fázi plnit tutéž úlohu, jakou plní čelní panel fyzického přístroje. V okně čelního panelu lze pomocí jeho objektů sledovat zpracovávaná data, zadávat parametry a řídit běh aplikace. Veškeré objekty lze libovolně měnit a upravovat od nastavení vzhledu (změna barvy, velikosti, popisek atd.) přes určení polohy, až k definici jeho chování. Na čelní panel je také možné importovat grafické objekty z jiných aplikací a použít je jako pozadí nebo vzhled jednotlivých prvků. Dále lze na volná místa vkládat volný text a měnit jeho font. Uživatel si tedy sám určuje konečný vnější vzhled virtuálního přístroje.[13] Příklad toho, jak může vypadat čelní panel virtuálního přístroje, ukazuje následující obrázek:



Obrázek 5-1: Čelní panel virtuálního přístroje [9].

Čelní panel je tvořen dvěma druhy grafických prvků a to ovládacími (Controls) a indikačními (Indicators).

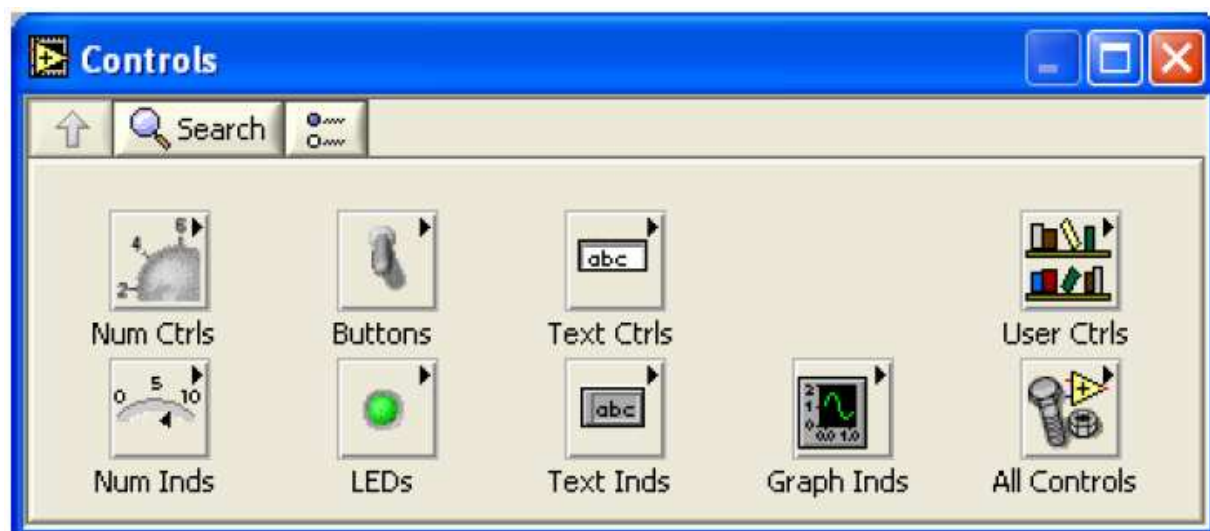
5.2.1.1 Ovládací prvky

Tyto prvky slouží k řízení a ovládání virtuálního přístroje. Jedná se o simulaci vstupních zařízení, jaká jsou na skutečném přístroji. Patří sem např. tlačítka (Button), otočné knoflíky (Knob), posuvné ovladače (Slide), dále textový nebo číselný ovladač pro vkládání textů či číselných hodnot (Numeric Control, Text Control) [13]. Při ovládání virtuálního přístroje vlastně dochází k přenosu informace od uživatele do aplikace (v blokovém diagramu jsou to bloky, z nichž signál vystupuje do algoritmu). Příklad ovládacích prvků je na obrázku 5-1 v levé části.

5.2.1.2 Indikační prvky

Zde naopak od ovládacích prvků dochází k předávání informací směrem od aplikace k uživateli. Ovládací prvky představují výstupní zařízení (v blokovém schématu jsou reprezentovány výstupními bloky, tedy bloky, v nichž signálové cesty končí). Hlavní funkcí těchto prvků je indikace či zobrazení výsledků zpracování dat a indikace stavu virtuálního přístroje. Sem patří např. kontrolky (LED), ručková měřidla (Meter), textové nebo číselné zobrazovače (Text Indicator, Numeric Indicator), různé podoby grafů (3D grafy, 2D grafy ...) a další.[13] Příklad indikačních prvků je zachycen na obr. 5-1 vpravo.

Široká škála ovládacích a zobrazovacích prvků je součástí základního systémového balíčku. Nabídka prvků se liší podle verze systému, ale lze si vytvořit prvky vlastní či nainstalovat další knihovny. Objekty čelního panelu jsou umístěny v knihovně prvků Controls, znázorněné na obrázku 5-2.



Obrázek 5-2: Paletové menu prvků front panelu [9].

5.2.1.3 Paleta Controls

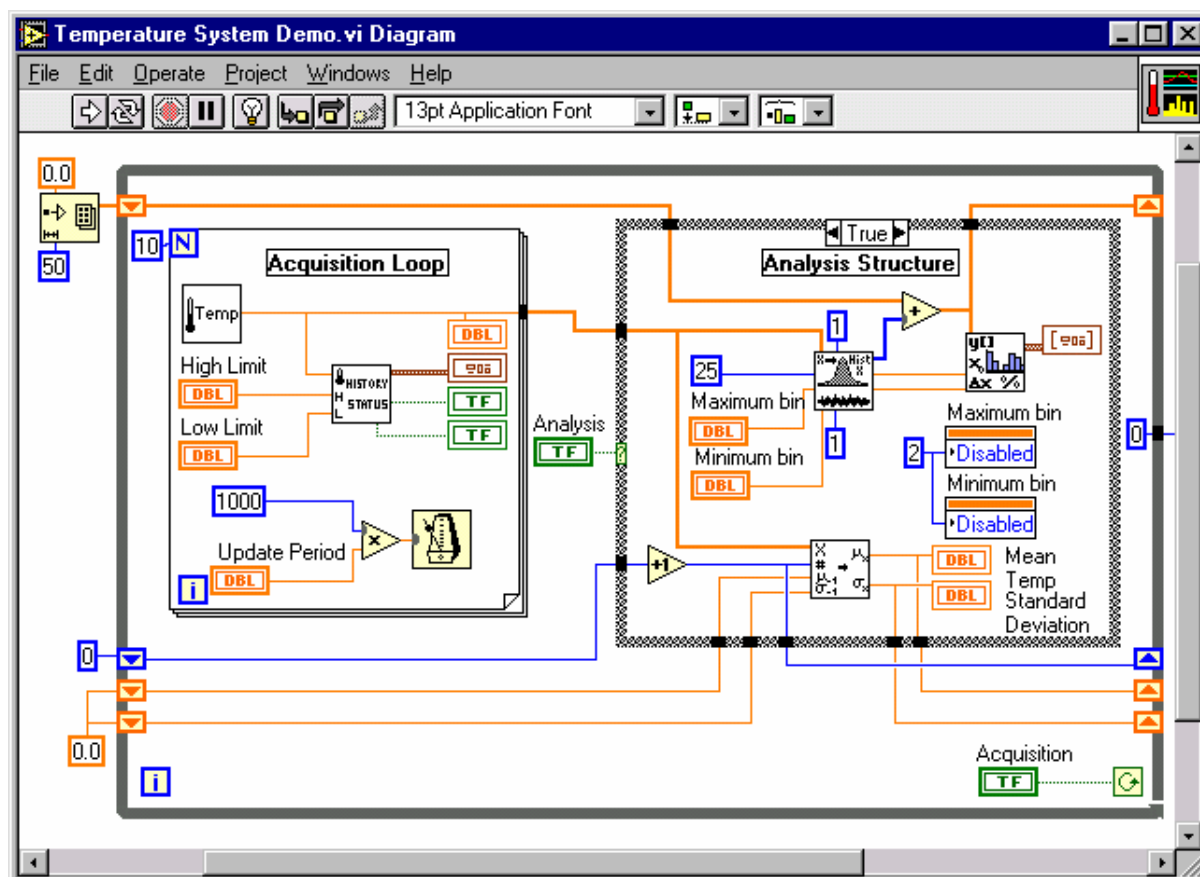
Zobrazení palety Controls se provádí kliknutím pravého tlačítka myši v libovolné volné části okna čelního panelu nebo pomocí roletové nabídky Windows / Show Controls Palette. Vkládání prvků z knihovny na čelní panel lze jednoduše kliknutím levého tlačítka myši na vybraný prvek a jeho přetažením na plochu. V paletě Controls jsou ikony pro jednotlivé ovládací a zobrazovací prvky, jako jsou již zmiňovaná tlačítka, knoflíky, přepínače, prvky pro zadávání vstupních hodnot, zobrazovače atd., jak je patrné na obrázku 5-2. Jelikož konkrétních prvků je relativně velké množství, je nabídka knihovnických prvků členěna hierarchicky. To znamená, že pod každým políčkem, jež má v pravém horním rohu šipku, pokračuje nabídka jemnějším členěním nižší úrovně. Každý prvek má své charakteristické menu, které se vyvolá kliknutím na objekt pravým tlačítkem myši. Pomocí tohoto menu se nastavují vlastnosti objektů, např. u dvouhodnotových ovladačů lze zvolit z funkcí Switch When Pressed (přepne z klidu do stavu sepnutí), Switch When Released (přepne ze stavu sepnutí do klidu), Switch Until Released (změní hodnotu na dobu stlačení tlačítka myši) atd.[13]

5.2.2 Blokový diagram

Obrazovka blokového diagramu je sdruženým oknem k oknu čelního panelu a je součástí každé aplikace. Mezi těmito okny lze libovolně přecházet např. stiskem <Ctrl+E>. Uživatel může mít tedy otevřena obě okna (čelního panelu i blokového diagramu) současně, nebo lze

používat jen okno čelního panelu, ale není možné pracovat pouze s oknem blokového diagramu.

Na obrazovce blokového diagramu se definuje vlastní algoritmus programu, což spočívá v propojení bloků signálovými cestami a nastavení jejich parametrů. Zdrojový kód programu je tedy tvořen grafickými objekty blokového diagramu. Tvorba algoritmu vzniká vzájemným propojováním objektů, což odpovídá řádkům v textově orientovaných programovacích jazycích, ale na rozdíl od nich, se jedná o přímo spustitelný kód, který je překládán během psaní. Tato skutečnost umožňuje rychlé odhalení chyby, jako například propojení bloků s neslučitelnými datovými typy.[9] [13] Ukázka blokového diagramu je na následujícím obrázku 5-3.



Obrázek 5-3: Blokové schéma virtuálního přístroje [9].

Prvky blokového diagramu lze rozdělit na tři základní komponenty. Jsou to koncové bloky tzv. Terminály, které jsou na panel blokového schématu umístěny automaticky při tvorbě čelního panelu, patří sem prvky zdrojové a cílové. Dalším základním stavebním prvkem jsou uzlové bloky. Jejich funkcí je zpracovávání signálu a jsou součástí knihovních funkcí blokového diagramu Function. Třetím, neméně důležitým prvkem, jsou spoje, které slouží k propojení uzlů a terminálů.

5.2.2.1 Uzel (Node)

Uzlové bloky slouží k vykonávání programu. Jsou ekvivalentní příkazům, funkci nebo podprogramu v textově orientovaném programovacím jazyku. Tyto bloky nejsou viditelné v okně čelního panelu. V Labview rozlišujeme tři typy uzlů: funkce, SubVI a struktura.

Uzly typu funkce jsou základními prvky blokového diagramu. Vlastnosti se nastavují v pop-up menu, které se vyvolá kliknutím pravým tlačítkem myši na konkrétním uzlu. Uzly umožňují provádět různé operace, jako je např. sčítání, práce se soubory atd. Uzly typu SubVI jsou celé virtuální přístroje nahrazené jednou ikonou, které lze použít jako stavební prvky jiného virtuálního přístroje. Jsou buď součástí knihovních funkcí, nebo je lze individuálně vytvořit. Slouží k lepší přehlednosti programu tak jako podprogramy. Funkcí uzlů typu struktura je řízení průběhu vykonávaného programu. Sem patří např. smyčky For, While apod.[13]

5.2.2.2 Terminál (Terminal)

Terminál představuje datové propojení mezi čelním panelem a blokovým diagramem, přesněji mezi uzlem a blokovým diagramem. V textově orientovaném programovacím jazyce odpovídá proměnné či konstantě. Terminály představují v blokovém diagramu kontrolní a indikační prvky vložené v okně čelního panelu. Samy se v blokovém diagramu vygenerují po vložení odpovídajících prvků v čelním panelu. Rozlišujeme terminály zdrojové (Source), resp. ovládací (Control) a koncové (Destination), příp. zobrazovací (Indicátor).

Zdrojové terminály představují počátky datových cest spojené s ovládacími prvky, konstantami, globální či lokální proměnnou v módu pro zápis. Patří sem číselné a textové ovladače atd. Koncové terminály jsou naopak konce datových cest spojené s indikačními prvky v módu pro zápis. Sem patří číselné, textové nebo grafické zobrazovače. [13]

5.2.2.3 Spoj (Wire)

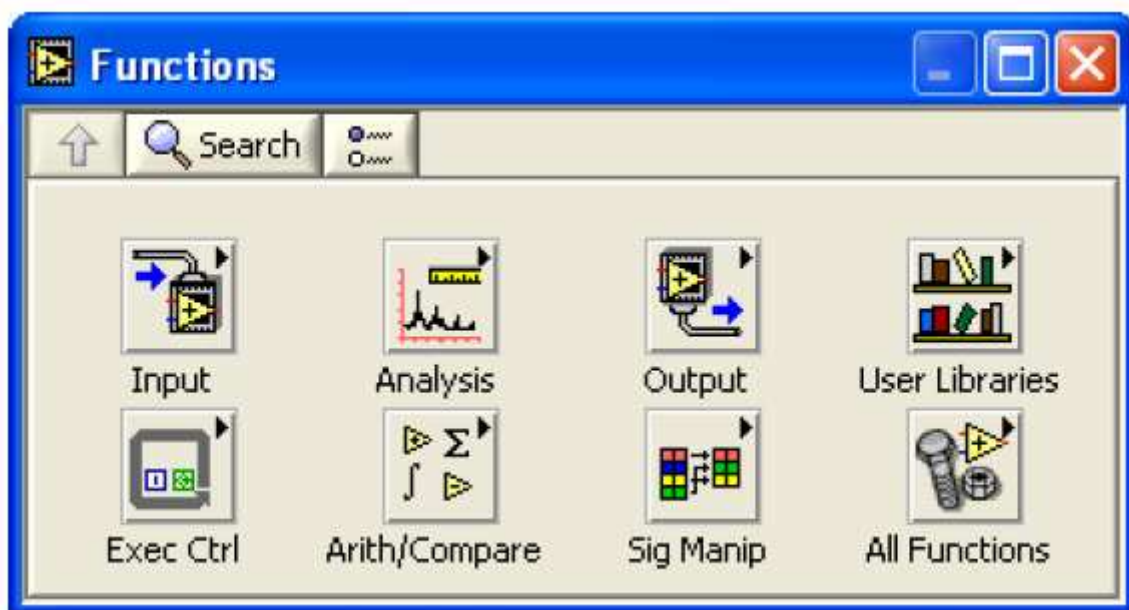
Spoj vytváří cestu dat mezi terminály a uzly. Odpovídá proměnným v běžném programovacím jazyku. Pomocí spoje lze vytvořit signálovou cestu od jednoho zdrojového bloku k více koncovým, ale nejde vést datovou cestu pouze od jednoho koncového bloku k druhému koncovému bloku. Protože se blokový diagram může skládat z různých typů objektů, mohou být i spoje různých typů v závislosti na datovém typu. Odlišení typu spoje v závislosti na přenášeném datovém typu je provedeno barvou a typem čáry. [9][13] Základní barevné rozlišení spojů je uvedeno v tab 5-1. K vytvoření spoje slouží propojovací nástroj (Wiring Tool). Nástroje jsou shromážděny v paletě Tools, která je společná pro obě okna. V paletě nástrojů si lze vybrat buď konkrétní nástroj (např. propojovací nástroj, posouvání, popisování, volba barvy atd.), nebo lze použít automatickou volbu nástrojů.

Tabulka 5-1: Základní datové typy spojů [13]

| Datový typ spoje | Barva čáry |
|--|------------|
| Celočíselný (Integer) | Modrá |
| Číselný s pohyblivou čárkou (Floating point) | Oranžová |
| Binární (dvojkový, Boolean) | Zelená |
| Znakový řetězec (String) | Fialová |

5.2.2.4 Paleta Functions

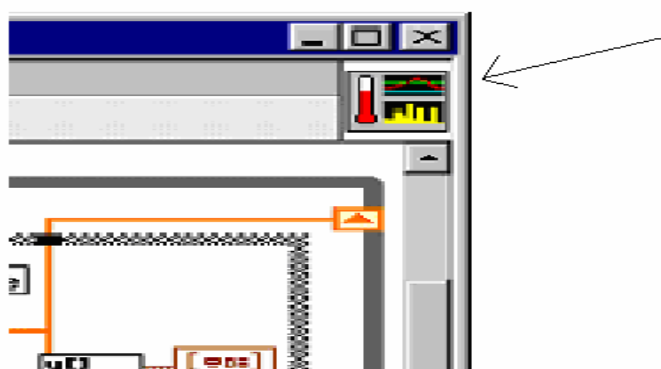
Paleta Functions se v blokovém diagramu vyvolá tak, jako paleta Controls v okně čelního panelu, stiskem pravého tlačítka myši kdekoli v okně nebo pomocí roletové nabídky Windows / Show Functions Palette. (ve verzích vyšších jak 7 view\ functions palette). Nabídka prvků se taktéž liší podle nainstalovaných knihoven. Na obrázku 5-4 je ukázka hlavního menu palety functions, která je v základním balíčku verze LabVIEW 7. Novější verze mají nabídku rozsáhlejší. Při uspořádání je také využito hierarchického členění, takže každá ikona s šipkou v pravém horním rohu skrývá jemnější členění daného okruhu. Práce s paletou Functions je tedy obdobná jako práce s paletou Controls. Při přepínání mezi okny blokového diagramu a čelního panelu dochází také k automatickému přepínání palety Function a palety Controls.



Obrázek 5-4: Paleta menu blokového diagramu [9].

5.2.3 Ikona a konektor

Během tvorby aplikace lze určitý celek nahradit jeho ikonou a konektorem s terminály pro připojení k dalším uzlům. Vznikne tak blok, jehož činnost je analogická činnosti podprogramu. Pomocí vstupních terminálů přijímá data, která po zpracování vrací programu svými koncovými bloky přes výstupní terminály. Ikona je tedy grafický symbol reprezentující konkrétní podprogram tzv. SubVI a konektor představuje množinu terminálů pro připojení.



Obrázek 5-5: Výřez blokového diagramu s označením ikony [9]

Ikona se nachází v pravém horním rohu okna blokového diagramu a čelního panelu. Příklad ikony je na výřezu okna blokového diagramu na obr. 5-5 označen šipkou. Standardní ikonou je logo LabVIEW. Editaci ikony lze provádět v obou oknech po spuštění editoru ikon. Editor ikony se vyvolá buď kliknutím pravým tlačítkem na ikonu a výběrem Edit Icon.. z pop-up menu, nebo dvojklikem levého tlačítka myši na ikonu. Zde se nastavuje vzhled ikony. Pro přepnutí na konektor slouží v pop-up menu ikony položka Show Connector. Po jejím aktivování se na místě ikony objeví konektor. Editace konektoru je možná pouze v okně čelního panelu a provádí se opět pomocí pop-up menu vyvolaného pravým tlačítkem myši. Konektor se podobá seznamu parametrů funkce z klasického programovacího jazyka. Definují se zde vstupy a výstupy dat SubVI. Je zde i možnost vložení komentáře, který je vidět v okně Context Help. [13]

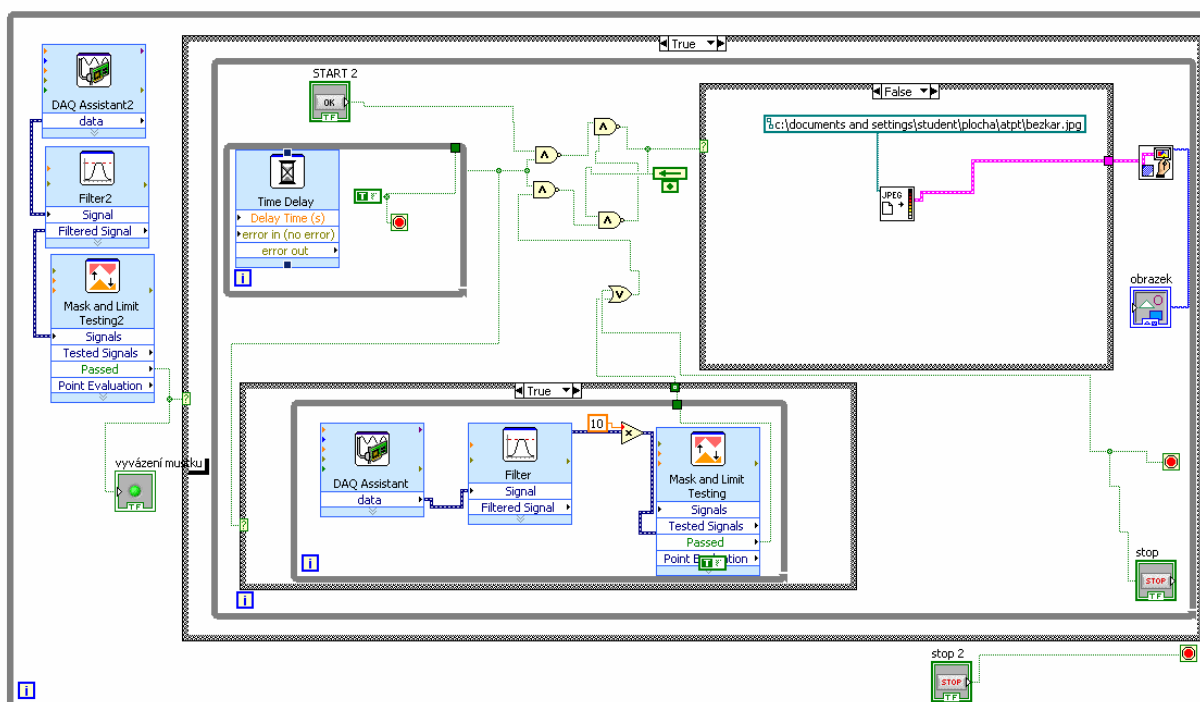
Tak jako podprogram v klasickém programovacím jazyce, tak i SubVI slouží k přehlednění programu a k zrychlení tvorby aplikací, jelikož jej lze využít při tvorbě dalších virtuálních přístrojů.

6. VYTVOŘENÁ APLIKACE

Analogový psychogalvanometr byl k PC připojen přes vstupně výstupní analogovou kartu. Snímaný signál byl zpracován v programovém prostředí LabVIEW. Samotný program aplikace (blokový diagram) je zobrazen na obrázku 6-1. a uživatelské rozhraní je zachyceno na obrázku 6-4 (čelní panel).

6.1 BLOKOVÝ DIAGRAM APLIKACE

Na následujícím obrázku je znázorněno blokové schéma aplikace určené k léčbě arachnofobie pomocí biofeedbacku. Celý program je umístěn v základní smyčce While. Ta zajišťuje cyklický běh programu. Následuje struktura Case, která je analogická podmíněnému příkazu If ...Then ...Else v textově orientovaných programovacích jazycích. Pro další běh programu musí být splněna podmínka nulového výstupu psychogalvanometru. Toho je docíleno jen vyvážením odporového můstku. Vyvážení odporového můstku se provádí před každým měřením, aby psychogalvanometr reagoval přímo na změny kožního odporu (viz. kapitola 4.4). Po vyvážení můstku se program dostává do dalšího While cyklu. Zde probíhá hlavní zpracovávání dat dokud není cyklus ukončen zmáčknutím tlačítka Stop. Základem programu je načtení signálu pomocí bloku DAQ Assistant, filtrace načteného signálu a porovnání s nastavenými limitními hodnotami v bloku Mask and Limit Trstiny. Celý tento proces je opět ve While smyčce. Výstupem z této smyčky je buď logická hodnota True, nebo hodnota Fols. Pokud je signál v mezích limitních hodnot, je výstupem logická hodnota True. Tato hodnota je R vstupem klopného obvodu RST. Na vstup S je připojeno tlačítko START a hodinové impulzy dodává blok Time Delay. Pomocí hodinových impulzů je také řízeno načítání signálu. Jelikož změna kožního odporu je relativně pomalá, je třeba začít načítat signál až v čase, kdy ke změně odporu dojde a navíc odezní přechodový děj. Z tohoto důvodu je načítání, filtrace a srovnání signálu ve struktuře Case, která tento proces spustí jen při příchodu hodinového impulzu, což je jednou za 5 s. Výstup klopného obvodu RST ovládá další strukturu Case čímž ovlivňuje přepínání obrázků na čelním panelu. Celou aplikaci lze ukončit tlačítkem stop 2.



Obrázek 6-1: Blokové schéma aplikace

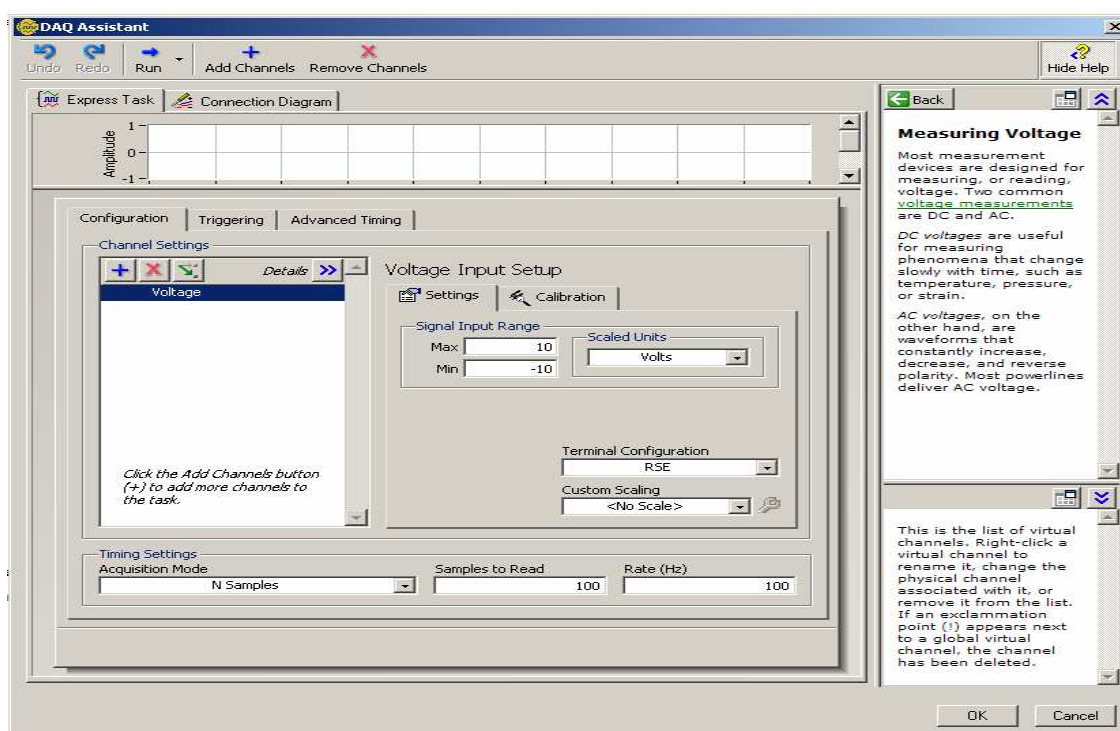
6.1.1 Tlačítko START

Tento dvouhodnotový ovladač má navolenou funkci Latch When Pressed. V klidu je na jeho výstupu stav log. 0 a stisknutím tlačítka myši se jeho stav změní na log. 1, ale jen do doby jednoho přečtení programu, pak je na jeho výstupu opět log. 0. Po spuštění aplikace se po stisknutí tohoto tlačítka objeví na obrazovce obrázek pavouka.

6.1.2 DAQ Assistant

Komponenta DAQ Assistant slouží k zapisování dat na výstup nebo čtení dat z vstupně výstupní analogové karty. V této aplikaci je využita pouze ke čtení dat z karty na kterou je připojen psychogalvanometr. Tento blok je v programu využit dvakrát. Poprvé pro kontrolu vyvážení odporového můstku a po druhé k načítání signálu v hlavní části programu. Nastavení DAQ Assistant je na obrázku 6-3. Zvolený měřicí rozsah je $\pm 10V$. V kolonce Terminal Configuration je zvolen RSE což znamená, že karta a analogový přístroj mají společnou zem a signál je tedy měřen vůči zemi. Ve spodním řádku je nastaven způsob snímání vzorků a frekvence snímání. Každou tisícinu sekundy se načte 1000 vzorků. Aby nebyl pokus zastaven dřív než se projeví změna odporu v závislosti na mentálním podnětu, je třeba signál načítat

v delších intervalech a je třeba zajistit, aby byl signál načten po určité době co je zobrazen pavouk. Pokud by byl signál načten v příliš krátkém čase po zobrazení pavouka, tak by nemuselo ještě dojít k dostatečným změnám kožního odporu a splnila by se podmínka pro přepnutí na neutrální obraz než by pacient začal reagovat. Proto je proces načítání řízen hodinovými impulzy obvodu RST. Tím je zajištěno, že se signál začne načítat až za 2 s po zobrazení pavouka. Podle obrázku 4-1 po 2 s skončí přechodný děj a odpor se ustálí na nové hodnotě. Kvůli zpoždění trvá déle než aplikace zareaguje na opětovné vyrovnání odporu a pro pacienta je tak o něco těžší docílit přepnutí obrazů jelikož musí po 2 s vydržet ve zklidněném stavu.



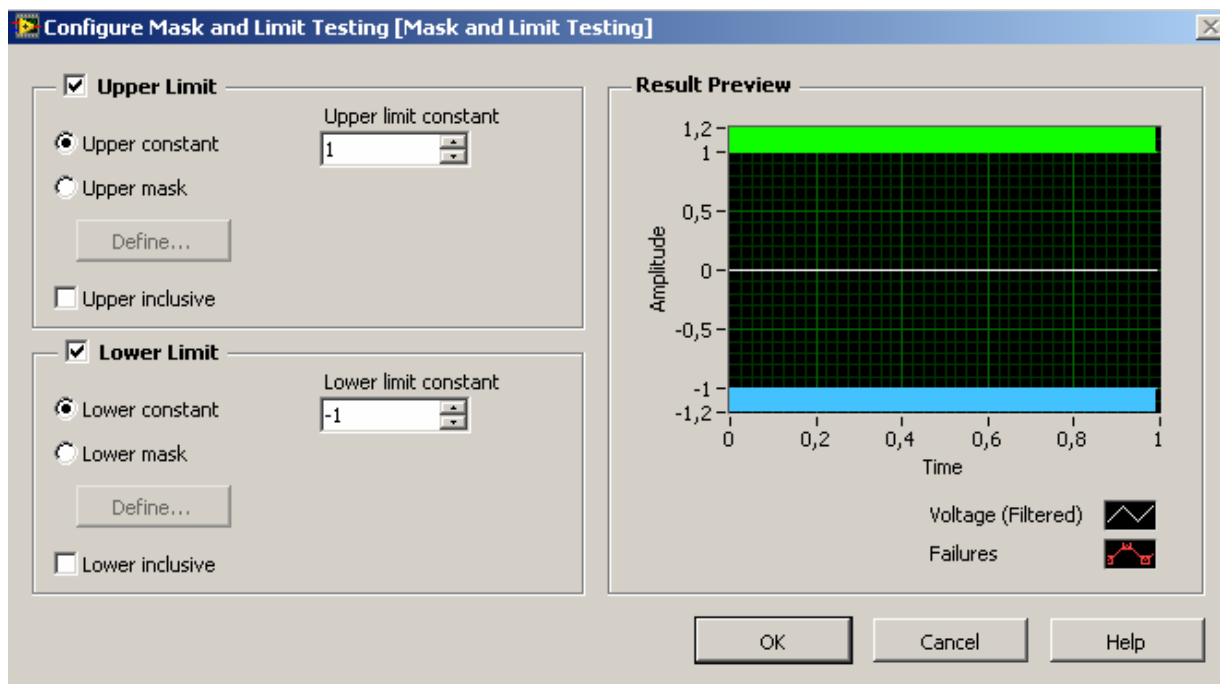
Obrázek 6-2: Nastavení bloku DAQ Assistant

6.1.3 Filter

K odstranění všudy přítomného vysokofrekvenčního rušení a rušení od rozvodné elektrické sítě je použit dolnofrekvenční filtr typu FIR s délkou impulsní odezvy 511 a mezní frekvencí 20 Hz.

6.1.4 Mask and Limit Testing

Komponenta Mask and Limit Testing zjišťuje, zda je testovaný signál v nastavených mezích. Pokud je velikost měřeného signálu v nastaveném intervalu, je na výstupu logická hodnota True. Nastavení komponenty je na obrázku 6-3. Limit je nastaven $\pm 1V$. Měřený signál se pohybuje v rozmezí $\pm 1V$ a je desetkrát zesílen. Jeho hodnoty se tak pohybují v rozmezí $\pm 10V$. Signál, který vyhovuje nastaveným mezím se blíží hodnotě vyváženého můstku.



Obrázek 6-3 Nastavení bloku Mask and Limit Trstiny

6.1.5 Obvod RST

Pokud je hodnota hodinového impulsu T v log.1, pak se klopný obvod chová podle tabulky 6-1, v opačném případě tedy, když je hodnota hodinového impulsu T v log.0, jsou na výstupech hodnoty předchozích stavů. Poslední stav v tabulce 6-1 je tzv. zakázaný stav. Tento stav odpovídá splnění podmínce bloku Mask and Limit Trstiny a současnému stisknutí tlačítka Start. V aplikacích, kde dochází k rozhodování na základě obou výstupů klopného obvodu je tento stav nežádoucí. Vzhledem k tomu, že v programu je využíván pouze výstup Q, tak nedochází ke kolizím a není třeba žádné opatření.

Zmáčkne-li uživatel tlačítko start (vstup S bude v log 1), dostane se na výstup RST obvodu (po příchodu hodinového impulsu T) log 1 nezávisle na hodnotě vstupu R. Jestliže je na výstupu RST obvodu log 1, zaktivuje se ta část Case struktury, která je v okně True. Zde

dojde k načtení obrázku pavouka a následně k jeho vytištění na obrazovku. Pokud je vstup S v log 0 a vstup R se dostane do log 1 (hodnota načítaného signálu je v mezích), je na výstupu RST obvodu log 0. Struktura Case se přepne na False a dojde k zobrazení pro pacienta neutrálního obrázku. K opětovnému zobrazení pavouka dojde opět po stisknutí tlačítka start. Vstup R je v log 1 vždy, když je můstek psychogalvanometru vyvážený (začátek procesu nebo nový pacient) nebo se tomuto stavu blíží. Při každém spuštění programu se můstek vyvažuje, takže vstup R je v log 1, což zajistí, že na počátku je na obrazovce neutrální obrázek. Před vyvážením je však na obrazovce obrázek, jež na ní byl před ukončením programu, proto je další funkcí tlačítka Stop zajistit, aby po jeho změně stavu z log 0 na log 1, po které následuje ukončení hlavní smyčky, došlo, pokud je to potřeba, ke změně obrázku z pavouka na neutrální obrázek. Po stisknutí tlačítka start jsou oba vstupy v log 1 na výstupu je tedy také log 1 a na obrazovce se objeví pavouk. Tento obraz vyvolá u pacienta změnu kožního odporu, což způsobí změnu načítaného signálu. Pokud zůstane kožní odpor pacienta v odlišné hodnotě než byl při vyvažování, je načítaný signál mimo nastavené meze a na vstupu R je log 0. Vstup S má též hodnotu log 0. Jelikož předchozí stav výstupu byl log 1, tak v tomto případě v log 1 nadále přetrvá a na obrazovce zůstane pavouk dokud se pacientovi nepodaří svojí vůlí přiblížit hodnoty kožního odporu na původní stav. Jakmile toho dosáhne, tak měřený signál bude v nastavených mezích a vstup R se dostane do log 1, což způsobí přepnutí obrázku. Při následném stisknutí tlačítka start se vše opakuje.

Tabulka 6-1: Stavy klopného obvodu RST z hradel NAND [18]

| R^n | S^n | Q^{n+1} | \underline{Q}^{n+1} |
|-------|-------|-----------|-----------------------|
| 0 | 0 | Q^n | \underline{Q}^n |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

6.1.6 Zobrazení obrázků

K zobrazení obrázků jsou použity funkce ze subpalety Graphics Formats VI. K načtení obrázku ze souboru slouží blok Read JPEG File na jehož vstup se zadá cesta k obrázku. Výstupem jsou image data, která jsou pomocí bloku Draw Flattenende Pixmap převedena s pixmapu na obrázek a následujícím blokem Picture zobrazena na obrazovce. Adresa obrázku je pevně zadána, aby

aplikace při každém zpuštění adresu nevyžadovala a tím zbytečně nerozptylovala pacienta. Je zde možnost výběru čtyř různých obrázků pavouka.

6.1.7 Stop

Toto tlačítko je taktéž ve funkci Latch When Pressed. Po jeho stisknutí se ukončí cyklus While, ve kterém probíhá hlavní zpracování dat a program opět čeká na vyvážení odporového můstku psychogalvanometu. Nedochozí tedy k úplnému ukončení aplikace. Jeho smyslem je připravení aplikace pro dalšího pacienta bez nutnosti ukončení celého programu. Zmáčknutí tlačítka dále zajistí přepnutí obrázku z pavouka na neutrální obraz, pokud k ukončení dojde aniž by se pacientovy podařilo strach ovládnout takže by k přepnutí obrázku nedošlo automaticky. To je důležité jelikož při opětovném spuštění aplikace je na obrazovce poslední zobrazený obraz. Po vyvážení můstku vždy dojde k zobrazení neutrálního obrazu, což zajišťuje klopný obvod RST. Pro správnou funkci je ale důležité, aby na obrazovce byl neutrální obrázek hned po spuštění aplikace. Protože pokud ještě před vyvážením nebo během něj bude pacient vystaven obrazovým podnětům, které v něm vyvolají elektrokodermální změnu, nebude můstek vyvážen na klidový odpor pacienta a následně by docházelo k přepínání obrázků ve chvíli kdy by pacient byl rozrušený a nácvik by měl spíše opačný efekt.

6.1.8 Stop 2

Opět se jedná o tlačítko ve funkci Latch When Pressed. Po kliknutí na toto tlačítko dojde k ukončení celé aplikace. Jelikož je tlačítko umístěno v základní smyčce, program na jeho změnu stavu zareaguje až po ukončení smyčky hlavní. Pokud by bylo tlačítko umístěno v hlavní smyčce, program by na změnu stavu reagoval okamžitě, ale nebylo by možné aplikaci ukončit po zastavení hlavní smyčky. Umístěním tohoto tlačítka do hlavní smyčky by bylo stejně nutné tuto smyčku nejdříve ukončit aby by bylo program schopny zareagovat na změnu stavu tlačítka v základní smyčce.

6.2 ČELNÍ PANEL APLIKACE

Obrázku 6-4 znázorňuje vzhled uživatelské aplikace. V levé části jsou ovládací a indikační prvky, v pravé části je prostor pro zobrazení obrázku vyvolávajícího psychogalvanický reflex. Indikační prvek zelené barvy značí zda je vyvážen odporový můstek a teprve po jeho rozsvícení je možné pokračovat dál. Červená LED dioda indukuje zastavení hlavní smyčky

programu. Pokud je žádoucí pokračovat dále v nácviku se stejným pacientem je třeba opět vyvážit odporový můstek pokud zelený indikátor není rozsvícen, což značí, že můstek je v rovnováze a program se ocitá v hlavní smyčce. Tlačítkem Start se neutrální obrázek přepne na obrázek s pavoukem. Tlačítko Stop vrátí program na začátek, kde je třeba vyvážit můstek a tlačítkem Konec programu se celá aplikace ukončí, ale pouze tehdy, když je program v základní smyčce tedy ve fázi čekání na vyvážení můstku. Dalším ovládacím prvkem je komponenta Text Ring, která slouží k výběru úrovně. V aplikaci jsou použity čtyři úrovně. Při výběru první úrovně by se měl objevit nejméně děsivý obrázek pavouka a po výběru čtvrté úrovně obrázek nejděsivější. Obrázky byly do úrovní zařazeny podle subjektivních pocitů testované osoby. Je ovšem pravděpodobné, že všeobecně nebudou vyhovovat.



Obrázek 6-4: Uživatelské rozhraní

6.3 TESTOVÁNÍ APLIKACE

Aplikace byla testována pouze na jedné osobě ženského pohlaví. Reakce na obrazové podněty byly víc než silné a testovaná osoba měla zpočátku velké potíže s kontinuálním sledováním podnětu. Proto byla následně použita sada čtyř obrázků seřazených dle subjektivních pocitů testované. První obrázek představoval nejméně děsivou scénu a poslední nejtěžší obrázek byl pro subjekt v mezích snesitelnosti. Po absolvování nácviku sebeovládání na všech obrázcích byla schopna dále pracovat i s obrázky, které pro ni na počátku testování byly naprosto nesnesitelné. Tento test ukázal, že pouze pomocí psychogalvanometru lze vytvořit biologickou zpětnou vazbu, která napomůže postiženým lépe zvládat jejich strach.

7. ZÁVĚR

V této práci byl popsán princip biologické zpětné vazby a jeho využití. Další část byla věnována odporu kůže a způsobu jeho měření. Součástí je i popis psychogalvanometru, s kterým bylo provedeno základní měření a jež byl využit pro biofeedback.

I když je nejznámějším využitím měření elektrodermální aktivity detektor lži, základní měření ukázalo, že samotný psychogalvanometr k těmto účelům použít nelze. Při měření na dvou subjektech se u jedné z testovaných osob změna odporu kůže v závislosti na lživých odpovědích vůbec neprojevila. Proto se v dnešní době pro detekci lživých odpovědí spolu s měřením elektrodermální aktivity používá měření krevního tlaku, srdečních pulzů a dechové frekvence. Během dalších pokusů se prokázala závislost kožního odporu na změně dýchání, na vizuálních podmětech a na psychické zátěži. Nejvýznamnějším změřeným údajem pro tuto práci byl fakt, že odpor kůže lze ovlivnit vlastní vůlí. Toto zjištění je základním předpokladem pro využití měření změn kožního odporu pro biofeedback. Na základě těchto pokusů byla vytvořena aplikace určena k léčbě arachnofobie pomocí psychogalvanometru. Pro tvorbu aplikace bylo zvoleno grafické programové rozhraní LabVIEW. Při zpracování signálu nebyl využit blok Analog to Digital Waveform, který převádí analogový signál na digitální, jelikož se pro vyhodnocování signálu zdál být blok Mask and Limit Trstiny, který pracuje s diskretizovaným signálem, výhodnější. Tato komponenta slouží vyhodnocení zda testovaný signál je v nastavených mezích a při kladném zjištění je na jejím výstupu logická hodnota True, v opačném případě je na výstupu hodnota False. Čehož se využívá k určení zda pacient po obrazové stimulaci dosáhl opět klidových hodnot kožního odporu.

Aplikace byla testována na osobě trpící silnou arachnofobií. Během testování se ukázalo, že je velice důležité vhodné zvolení obrazových podnětů. Subjekt nebyl zpočátku schopen u prvního obrázku docílit klidové hodnoty kožního odporu, ale po sérii jím zvolených lehčích obrázků se nakonec zvládl vyrovnat i s pavoukem na původně prvním obrázku. Pomocí této aplikace lze částečně pomoci pacientům ovládnout svůj strach. Ale protože k vyvolání strachu jsou použity jen statické obrazy, nelze docílit úplného odnaučení strachu z daného podmětu. Aplikace by mohla být použita k prvnímu kroku odnaučování strachu na nějž by navazovala další odborná terapie. Využití vytvořeného programu se neváže pouze na léčbu arachnofobie, ale lze jej využít k léčení různých fobií, které se dají navodit obrazovou stimulací.

LITERATURA

- [1] CHMELAR, M., *Lékařská laboratorní technika*, Brno 2000
- [2] CHMELAR, M., *Lékařská přístrojová technika*, Brno 1995
- [3] VENABLES, P. H.; , MARTIN, I., *A manula of psychophysiological methods*, North Holland publishing copany 1967
- [4] VALEČKO, Z. , *Bioelektronika v amatérské praxi, 1.díl*, Praha: BEN 2005
- [5] PELÁNEK, R. Zpětná vazba [online]. [s.l.], [cit. 2009-24-9]. . 23 s. Prezentace. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta. Dostupné z WWW: <http://www.fi.muni.cz/~xpelanek/IV109/slidy/zpetna-vazba.pdf>.
- [6] TYL, J. Egbiofeedback.cz [online]. [cit. 2010-05-10]. Biofeedback základní informace. Dostupné z WWW: <http://www.eegbiofeedback.cz/cesky/cesky.php?menu=1>.
- [7] HUDCOVÁ, L. Hudcova.cz [online]. 2005 [cit. 2010-05-10]. Biofeedback. Dostupné z WWW: <http://www.hudcova.cz/metody/eeg-biofeedback/>.
- [8] Wikipedie.cz [online]. 2009 [cit. 2010-05-10]. Biofeedback. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Biofeedback>.
- [9] ŽÍDEK, J., *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW*, 2002
- [10] CHURÝ, L. Programujte.com [online]. 6.12. 2005 [cit. 2009-05-4]. Biofeedback. Dostupné z WWW: <http://programujte.com/?akce=clanek&cl=2005120301-biofeedback>.
- [11] GERLA, V. Zivotni-energie.cz [online]. 17.12.2007. 2007 [cit. 2010-05-10]. EEG Biofeedback a jeho hlavní použití. Dostupné z WWW: <http://zivotni-energie.cz/eeg-biofeedback-a-jeho-hlavni-pouziti.html>.
- [12] GERLA, V. Zivotni-energie.cz [online]. 28.1.2007. 2007 [cit. 2010-05-10]. Úvod do EEG - Významné frekvence, grafoelementy. Dostupné z WWW: <http://zivotni-energie.cz/uvod-do-eeg-vyznamne-frekvence-grafoelementy.html>.
- [13] VLACH, J., HAVLÍČEK, J., VLACH, M., *Začínáme s LabVIEW*, Praha: BEN 2008
- [14] HÜBCHMANN, K. Kůže, orgán lidského těla. 1. Praha : Academia, 1972. 204 s.
- [15] Long-qt-syndrome.com [online]. 2007 [cit. 2009-05-4]. Dostupné z WWW: http://long-qt-kg_measurements_large.syndrome.com/images/ekg_measurements_lafge.gif

- [16] Gymhol.cz [online]. 2007 [cit. 2010-05-10]. Jednoduchá stavba kůže. Dostupné z WWW: <<http://www.gymhol.cz/projekt/biologie/kuze/obr1.htm>>.
- [17] VÍTEK, D. Elektrodermální aktivita během asociačního experimentu. [s.l.], 2004. 83 s. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Dostupné z WWW: <<http://www.psycholousek.cz/downloads/diplmkaVitek.pdf>>.
- [18] 352lab.vsb.cz [online]. [cit. 2010-05-11]. Logické obvody. Dostupné z WWW: <http://352lab.vsb.cz/MinServer/PraceStud/LPaS/Srek/Soubory_LogickePrvky/LogKombObvody.html>.

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|--|----|
| SCHÉMA ZAPOJENÍ PSYCHOGALVANOMETRU | 43 |
|--|----|

Schéma zapojení psychogalvanometru

